

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

На правах рукописи



АЛШАХВАН АЛАДДИН

**ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТЕПЛЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ В
УСЛОВИЯХ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ПУТЕМ ИХ
ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ**

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

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук, профессор
Калгин Юрий Иванович

Воронеж - 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ И АКТУАЛЬНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СИРИИ	11
1.1 Актуальность применения теплых асфальтобетонных смесей при устройстве и ремонте дорожных покрытий в условиях Сирийской Арабской Республики .	11
1.2 Анализ технологий приготовления и применения теплых асфальтобетонных смесей для устройства дорожных покрытий.....	23
1.3 Использование модификаторов в теплых асфальтобетонах для повышения показателей их структурно-механических свойств и срока службы дорожных покрытий	36
1.4 Выводы по первой главе.....	48
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЁПЛОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ СИРИИ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	51
2.1 Обоснование расчета дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях восточных регионов Сирийской Арабской Республики.....	51
2.1.1 Обоснование расчетных значений параметров для расчета дорожной конструкции в условиях сухого и жаркого климата восточных регионов Сирии	51
2.1.2 Выбор программного обеспечения	55
2.2 Обоснование методов и средств экспериментального исследования по разработке теплого модифицированного асфальтобетона	55
2.2.1 Применяемые материалы	55

2.2.2 Методика и средства лабораторных и натурных исследований	69
2.3 Выводы по второй главе	78
ГЛАВА 3. РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОКРЫТИЕМ ИЗ ТЕПЛОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТМА С МОДИФИКАТОРОМ РТЭП-М ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СИРИИ .	79
3.1 Расчет дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях восточных регионов Сирии в программе РАДОН	79
3.1.1 Формирование базы данных для расчета дорожных конструкций в программе РАДОН с учетом условий Сирии	79
3.1.2 Результаты расчета дорожных конструкций с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях Сирии	84
3.2 Разработка и обоснование технологии производства теплого асфальтобетона, модифицированного методом полимерно-дисперсного армирования с модификатором РТЭП-М	87
3.2.1 Физико-механические свойства контрольного состава теплой асфальтобетонной смеси	88
3.2.2 Закономерности изменения структурно-механических и физических свойств тёплых асфальтобетонных смесей с модификатором РТЭП-М	89
3.3 Выводы по третьей главе	96
ГЛАВА 4. ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТЕПЛОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В РАЗНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ СИРИИ	98
4.1 Долговечность теплого модифицированного асфальтобетона в условиях, моделирующих сухой климат восточных регионов Сирии	98
4.2 Долговечность теплого модифицированного асфальтобетона в условиях, моделирующих влажный климат западных регионов Сирии	104

4.3 Повышение долговечности покрытий из теплого модифицированного асфальтобетона в условиях интенсивного дорожного движения	110
4.4 Выводы по четвёртой главе	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	123
ПРИЛОЖЕНИЕ А	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	151
ПРИЛОЖЕНИЕ В	164
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	185
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	186

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Приведение автомобильных дорог в Сирийской Арабской Республике (САР) в нормативное эксплуатационное состояние после существенных разрушений, нанесенных большим участкам сети дорог в результате военных действий в течение последних лет, требует новых подходов и нетрадиционных технологий, которые должны отвечать всем текущим и будущим требованиям (экономическим, техническим, климатическим и эксплуатационным). Новые технологии в дорожном строительстве необходимо внедрять с учетом общемировой тенденции сохранения окружающей среды, противодействия изменению климата и минимизации вредных выбросов.

Производство и применение теплых асфальтобетонных смесей (ТАС) является одним из наиболее эффективных современных направлений развития технологии строительства дорожных покрытий. Все преимущества ТАС особенно актуальны для регионов мира, пострадавших от стихийных бедствий или военных действий, таких как САР.

Одним из наиболее частых дефектов, проявляющихся при эксплуатации дорожных одежд с покрытием из ТАС, является колейность, которая возникает в результате движения автотранспорта в регионах с жарким климатом. Следовательно, задача разработки технологии производства и применения теплого асфальтобетона для строительства и ремонта автомобильных дорог в Сирийской Арабской Республике, обладающего необходимым комплексом транспортно-эксплуатационных показателей и способного противостоять воздействию длительных динамических нагрузок, является актуальной в настоящее время.

Степень разработанности темы.

Исследованию асфальтобетонных смесей, производимых при пониженных температурах, посвящены работы российских и зарубежных ученых: Л. Б. Гезенцевей, И. В. Королев, В. А. Головки, Г. Р. Фоменко, М. С. Rubio, G. Martines, L. Baena, F. Moreno, J. D'Angelo, B. Prowell, R. Sines, B. Yeaton, A. Vaitkus, F. Xiao, P. E. W. Zhao, S. N. Amirkhanian, E. Harm, J. Bartoszek, G. Baumgardner, M. Corrigan,

J. Cowsert, T. Harman, M. Jamshidi, W. Jones, D. Newcomb, A. Jamshidi, M.O. Hamzah, Z. Shahadan, O. Kristjansdottir. Техническими аспектами применения метода полимерно-дисперсного армирования с использованием модификатора РТЭП при устройстве дорожных асфальтобетонных покрытий занимались А. Г. Доля, С. К. Иллиополов, А. А. Стукалов, Д. Э. Жердев, Ю. В. Хижняк, Р. Р. Шахмуратьян, А. С. Какишев, С. А. Чернов, А. В. Каклюгин, А. Н. Никитина, К. Д. Голюбин.

Цели и задачи работы.

Целью работы является разработка и обоснование применения тёплого модифицированного асфальтобетона для устройства и ремонта дорожных покрытий в условиях Сирийской Арабской Республики.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

- на основании анализа технической литературы и результатов, ранее проведенных исследований, обосновать целесообразность применения технологий производства и применения теплых модифицированных асфальтобетонных смесей при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог в условиях Сирийской Арабской Республики;

- выполнить моделирование эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в климатических условиях САР и провести оценку долговечности дорожных покрытий;

- запроектировать дорожные конструкции с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона (ТМА) и провести их расчет с учетом природно-климатических условий Сирийской Арабской Республики;

- установить эффективность метода полимерно-дисперсного армирования (ПДА) для приготовления модифицированных ТАС при строительстве автомобильных дорог с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях САР и разработать технологическую основу для их производства;

- определить долговечность ТМА в покрытии в условиях интенсивного дорожного движения путем оценки его устойчивости к колееобразованию.

Объект исследования: дорожные покрытия в условиях Сирийской Арабской Республики с применением конструктивных слоев дорожных одежд из теплого модифицированного асфальтобетона.

Предмет исследования – исследование свойств теплого асфальтобетона в дорожной конструкции при воздействии различных эксплуатационных факторов для развития технологии строительства и ремонта дорожных покрытий в САР.

Научная новизна:

- Обоснована целесообразность применения технологий производства и применения теплых модифицированных асфальтобетонных смесей при строительстве и ремонте автомобильных дорог в условиях САР.

- Разработана модель эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из ТМА в климатических условиях регионов Сирийской Арабской Республики и определены регионы САР, для которых рекомендовано применения ТМА для транспортного строительства.

- Выявлены закономерности изменения свойств тёплого асфальтобетона дорожных покрытий в климатических условиях восточных и западных регионов САР.

- Обоснованы дорожные конструкции с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона в условиях САР.

- Доказана эффективность использования метода полимерно-дисперсного армирования теплого асфальтобетона, применяемого для строительства и ремонта автомобильных дорог в САР, для повышения долговечности и эксплуатационных свойств ТМА в условиях интенсивного дорожного движения.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- Предложены новые технические решения производства ТАС для устройства дорожного покрытия в условиях Сирийской Арабской Республики.

- Разработаны составы ТМА с использованием модификатора РТЭП-М для транспортного строительства в САР.

- Апробирована методика проектирования дорожных конструкций с покрытиями из ТМА для условий САР.

- Разработаны рекомендации по приготовлению и применению ТАС, модифицированных методом полимерно-дисперсного армирования с использованием модификатора РТЭП-М, в условиях Сирийской Арабской Республики (на арабском языке).

Все предлагаемые методики и рекомендации позволяют обеспечить повышение долговечности дорожных покрытий, сокращение сроков производства работ, уменьшение стоимости объектов, и, как следствие, трудовых затрат.

Основные результаты, достигнутые в диссертационном исследовании, соответствуют паспорту научной специальности 2.1.8 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей, по направлениям исследований:

- п.13. Разработка, организация производства и технология изготовления эффективных материалов, изделий и конструкций для транспортного строительства;

- п.14. Разработка новых и совершенствование существующих методов и средств математического и физического моделирования работы конструкций, технологических процессов, организации и оперативного управления строительным производством, режимов эксплуатации и оценки технических и экологических рисков при строительстве, эксплуатации и реконструкции транспортных сооружений, их элементов, объектов и производств.

Методология и методы исследования:

Теоретической и методологической основой исследования послужили современные положения теории и практики развития технологии строительства дорог из ТАС, разработки российских и зарубежных ученых в области совершенствования использования эффективных материалов для транспортного строительства. В работе использовались математическое и физическое моделирование для обоснования долговечности дорожных покрытий в климатических условиях САР и фактического дорожного движения, а также сертифицированное программное обеспечение для разработки дорожных

конструкций из ТМА. Обработка результатов экспериментов проведена методами математической статистики.

Личный вклад. Формулировка цели диссертации, определение задач для достижения цели исследования выполнены непосредственно автором. Самостоятельно сделан анализ источников литературы по теме диссертационного исследования. Выполнены теоретическая и экспериментальная часть работы. Апробированы и внедрены результаты исследования. Проведен анализ и обобщение полученных экспериментальных и теоретических результатов, а также сформулированы выводы и основные положения диссертационного исследования.

На защиту выносятся:

1. Результаты моделирования эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из ТМА в климатических условиях в восточных и западных регионах САР с целью оценки эффективности применения теплого модифицированного асфальтобетона.

2. Результаты экспериментально-теоретических исследований по разработке и обоснованию технологии производства и применения теплых асфальтобетонных смесей, модифицированных методом полимерно-дисперсного армирования с модификатором (РТЭП-М) для транспортного строительства в условиях САР.

3. Конструкция дорожной одежды нежесткого типа с покрытием из ТМА в условиях восточных регионов САР на примере автомобильной дороги «Дерь-Эзор – Пукамаль».

4. Закономерности изменения структурно-механических и физических свойств тёплых асфальтобетонных смесей с модификатором РТЭП-М.

5. Результаты оценки долговечности дорожных покрытий из ТМА в условиях интенсивного дорожного движения согласно современным стандартам и требованиям.

Достоверность полученных результатов исследований подтверждена использованием научно-обоснованных методов исследования, адекватным соответствием результатов теоретических предложений с экспериментальными

данными и результатами внедрения, а также применением поверенных приборов и оборудования при лабораторных исследованиях.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Строительства и эксплуатации автомобильных дорог» (ВГТУ, Воронеж, 2018 - 2023 г.г.), на международной научно-практической конференции «Технические науки: проблемы и решения» (№ 9 (71), Москва, 2023 г.), на международной научно-практической конференции «Инновационные подходы в современной науке» (№ 18(150), Москва, 2023 г.).

Внедрение результатов работы.

Результаты, полученные в диссертационном исследовании, доведены до практического использования. Полученные результаты имеют непосредственное значение в области проектирования, строительства, ремонта и реконструкция автомобильных дорог в разных эксплуатационных условиях. Разработанные рекомендации внедрены для практического применения в ООО «ПОЛИМЕРТЭК» (производитель РТЭП-М, Воронежская область) и в подрядных дорожных организациях: ООО «компания Ростес-Юг» (Ростовская область), ООО «Бондарская ДСПМК» (Тамбовская область).

Публикации. Основные результаты исследования отражены в двенадцати научных статьях (шесть в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, две в журналах входящих в базу WEB of Science и четыре в других научных журналах).

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, списка использованных источников и приложения. Работа изложена на 187 страницах, содержит 39 рисунков и 34 таблицы. Список литературы включает 144 наименования.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ И АКТУАЛЬНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СИРИИ

1.1 Актуальность применения теплых асфальтобетонных смесей при устройстве и ремонте дорожных покрытий в условиях Сирийской Арабской Республики

В большинстве стран мира используются дороги разных категорий и типов как самый важный способ передвижения людей или товаров, как один из основных факторов, способствующих развитию экономической, социальной и культурной жизни человеческого общества. Это побуждает ученых и инженеров-практиков уделять особое внимание дорожному устройству и постоянно проводить актуальные исследования в области разработки методов и материалов, используемых при его строительстве и обслуживании дорог.

Одним из наиболее важных типов покрытия, используемых при проектировании слоев дорожной одежды, является асфальтобетонное покрытие, которое получило широкое распространение во всех регионах мира, начиная с 20-ых годов XX века. Основной причиной этого является быстрота его строительства, простота реализации и обслуживания, а также низкая стоимость [1, 2].

Широкое распространение этого типа дорожного покрытия требует постоянных исследований по проблеме улучшения характеристик различных видов асфальтобетонного покрытия с тем, чтобы обеспечить их устойчивость к различным нагрузкам в течение расчетного срока службы и повысить долговечность.

Асфальтобетонные смеси подразделяются на горячие, теплые и холодные смеси в зависимости от вязкости битума и условий применения [1, 3, 4], (см. рисунок 1.1).

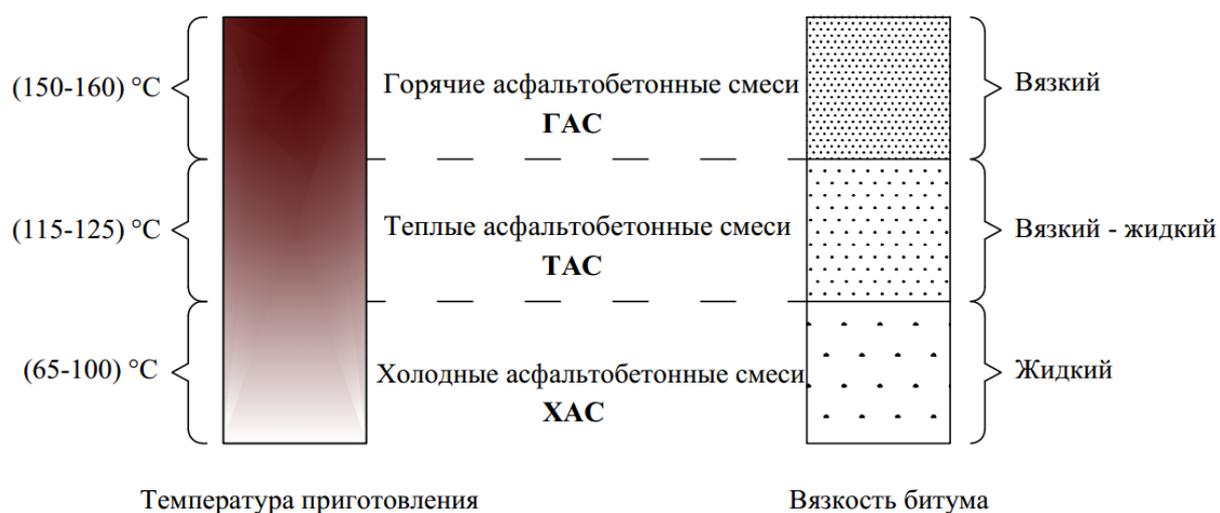


Рисунок 1.1. Виды асфальтобетонных смесей

Холодные асфальтобетонные смеси (ХАС) готовятся с использованием жидкого битума, но в меньшем количестве по сравнению с горячими и теплыми асфальтобетонными смесями. Холодный асфальтобетон применяется в холодном состоянии при температуре не ниже 5 °С и может храниться для транспортировки и последующего использования до 6 месяцев [4, 5]. Применение этого типа асфальтобетонных смесей ограничивается дорожно-ремонтными работами в холодном климате, строительством сельских дорог и дорог с низкой интенсивностью движения. Слабая устойчивость холодных смесей к воздействию воды и нагрузок, относительно длительный период формирования (1,5 – 3 месяца) в зависимости от движения, климатических условий и используемого битума являются одними из основных недостатков этих смесей [4, 6].

Горячие асфальтобетонные смеси (ГАС) – это смеси, приготовленные с использованием вязкого битума с температурой смешивания 150– 160 °С и уплотненные при температуре не ниже 130 °С [7 - 9].

При приготовлении горячих асфальтобетонных смесей требуется повышенная температура, чтобы снизить вязкость битума до состояния, при котором он может инкапсулировать все материалы заполнителя и привести к образованию идеальной гомогенной асфальтобетонной смеси [10]. Однако более высокие температуры сопровождаются потреблением большего количества

топлива, необходимого для нагрева в дополнение к большому количеству вредных выбросов в окружающую среду.

Интервал времени между выпуском смеси из смесителя и ее уплотнением должен быть очень коротким, чтобы поддерживать соответствующую температуру, необходимую для уплотнения, и избежать необходимости повторного нагрева смеси для достижения требуемой температуры. Для этого требуется, чтобы производственные центры располагались близко к рабочим площадкам и было сокращено расстояние, на которое транспортируется смесь [11, 12].

Стабильность физико-механических характеристик данных смесей, их пригодность для различных условий применения, а также многочисленные научные исследования, проведенные в последнее время для улучшения их свойств и производительности, сделали ГАС одним из наиболее востребованных типов асфальтобетонных смесей, который используется для мощения поверхностных слоев важных автомагистралей – городских или сельских. Эти смеси доказали, что они выдерживают самые тяжелые типы трафика в том случае, если они удачно спроектированы и хорошо подготовлены, а затем помещены на соответствующий базовый слой.

Теплые асфальтобетонные смеси (ТАС) – это смеси, занимающие промежуточное положение между горячими и холодными асфальтобетонными смесями с точки зрения температуры приготовления и уплотнения, изготовленные с использованием как вязкого, так и жидкого битума и применяющиеся при температуре не ниже 70 °С [4, 8, 14].

С появлением теплого асфальтобетона его применение было ограничено менее важными строительными проектами, такими как мощение площадей и тротуаров, а также ремонтными работами [1, 2, 14]. Однако в последние годы интерес к этому типу асфальтобетона существенно возрос со стороны дорожных организаций и исследовательских центров в связи с глобальной тенденцией к охране окружающей среды и сокращению потребления природных ресурсов.

Применение теплых асфальтобетонных смесей может снизить температуру смешивания и уплотнения до 30 %, в то же время позволяя асфальтовому вяжущему адекватно покрывать заполнители во время смешивания на заводе и достигать требуемой обрабатываемости на участке дорожного покрытия [3, 15 -17]. Это достигается за счет снижения вязкости битума и повышения удобоукладываемости асфальтового вяжущего при заданной температуре [17, 18].

Было проведено и до сих пор проводится множество исследований в области улучшения характеристик теплого асфальтобетона путем разработки технологии его производства или использования добавок с целью повышения его эффективности и улучшения его физико-механических свойств и, таким образом, использования его в качестве хорошей альтернативы горячему асфальтобетону.

Снижение температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси, достигаемое с помощью технологий ТАС, дает определенные преимущества – экологические, экономические, производственные, технические и др., что подчеркивается в научной литературе [3, 19 – 30].

Экологические преимущества

Снижение температуры при приготовлении ТАС приводит к огромному снижению вредных выбросов и дыма. Исследования М. С. Rubio, G. Martines, L. Baena, F. Moreno, J. D'Angelo, E. Harm, J. Bartoszek, G. Baumgardner, M. Corrigan, J. Cowsert, T. Harman, M. Jamshidi, W. Jones, D. Newcomb, B. Prowell, R. Sines, B. Yeaton показали [24, 25], что «при температурах ниже 80 °С выбросы битума практически отсутствуют; даже при температуре около 150 °С выбросы составляют всего около 1 мг / ч. Значительные выбросы были зарегистрированы при 180 °С». et al. Vaitkus, N. Bueche, O. R. Larsen, et al. D'Angelo, Evotherm website [25 – 30], все они подтвердили в результатах своих исследований, что теплые асфальтобетонные смеси снижают выбросы газов в разных процентах по сравнению с традиционными горячими асфальтобетонными смесями. В таблице 1.1 сравниваются результаты исследований.

Таблица 1.1 - Данные по ТАС, относящиеся к сокращению выбросов газов

	Vaitkus et al. [22]	Bueche N. [29]	Larsen O.R. [30]	D'Angelo et al. [25]	Evotherm website
CO	30-40%	30-40%	31%	15-40%	46%
SO	35%	-	-	20-35%	81%
VOC	50%	50%	-	50%	30%
CO	10-30%	-	29%	10-30%	63%
NO	60-70%	-	62%	60-70%	58%
Dust	20-25%	-	-	25-55%	-

Пары асфальтобетонных покрытий негативно воздействуют на здоровье рабочих и ухудшают условия их труда, особенно в закрытых помещениях (например, при мощении туннелей). Поэтому сокращение выбросов газов, включая пары, способствует улучшению здоровья рабочих и созданию более комфортной производственной среды [23, 24], а также может стать фактором, удерживающим людей на их рабочих местах в долгосрочной перспективе.

Кроме того, F. Xiao, P. E. W. Zhao, S. N. Amirkhanian показали [26], что ТАС имеет экологические преимущества благодаря возможности добавления резиновой крошки из старой резины, в результате чего можно получать прорезиненные асфальтобетонные смеси, снижающие температуру смешивания и уплотнения, а также увеличивающие долговечность покрытия по сравнению с обычным асфальтобетонным покрытием.

Экономический эффект

Экономическая выгода от ТАС зависит от типа энергии, используемой в производственном процессе, ее стоимости и потенциала загрязнения окружающей среды. В большинстве стран затраты на энергию относительно высоки, и поэтому любое ее сокращение в этом отношении высоко ценится производителем асфальтобетона. Хотя экономические и экологические выгоды обычно рассматриваются отдельно, по нашему мнению, их следует рассматривать вместе. Отметим, что если бы были введены и обеспечены более строгие стандарты

выбросов, тогда применение ТАС имело бы еще больший экономический потенциал.

Вообще говоря, снижение расхода топлива напрямую связано со снижением температуры. В этом смысле потребление энергии при производстве ТАС составляет 60-80% от потребления энергии ГАС, как было показано в исследовании М. С. Rubio, G. Martines, L. Baena, F. Moreno, A. Jamshidi, М.О. Hamzah, Z. Shahadan, O. Kristjansdottir [24, 28, 31]. Снижение температуры ТАС также способствует уменьшению износа оборудования асфальтобетонного завода. Однако достижение такого экономического эффекта влечет за собой дополнительные затраты, связанные с необходимостью модификации установок в некоторых технологиях, применяемых при производстве теплых асфальтобетонных смесей.

Преимущества производства

Основным производственным преимуществом является потенциально широкое использование восстановленного асфальтобетонного покрытия (ВАП) в составе асфальтобетонных смесей.

Возможность в будущем переработки ТАС за счет отсутствия старения асфальтобетонного вяжущего при низких температурах приготовления. Благодаря повышенной удобоукладываемости смесей ТАС они могут содержать более высокий процент регенерированного асфальтобетонного покрытия [26]. Это приводит к более низкой производственной температуре и меньшему старению вяжущего, таким образом противодействуя более жесткому вяжущему ВАП. В исследованиях А. Vaitkus, А. Cygas, А. Laurinavicius, Z. Perveneckas, J. D'Angelo, E. Harm, J. Bartoszek, G. Baumgardner, M. Corrigan, J. Cowsert, T. Harman, M. Jamshidi, W. Jones, D. Newcomb, B. Prowell, R. Sines, B. Yeaton [25, 27], также зафиксировали, что доля ВАП превышает 50%.

Отмечено, что источник и содержание ВАП влияют на расход топлива и выбросы. Многие исследователи утверждают, что использование ВАП в покрытиях из ТАС может помочь компенсировать повышенные первоначальные затраты, если они существуют, а также сохранить природные ресурсы и избежать проблем с

утилизацией. Кроме того, было доказано, что свойства правильно спроектированных переработанных асфальтобетонных материалов с новыми асфальтобетонными покрытиями близки по параметрам [26, 28].

Кроме того, происходит замедление старения вяжущего и может быть увеличен срок службы покрытия, для чего, однако, требуется проведение дополнительных научных исследований и экспериментов на местах [21].

И наконец, еще одно производственное преимущество, которое напрямую связано с уменьшением выбросов паров, это возможность размещения заводов в городских районах.

Преимущества мощения

Преимущества укладки связаны с тем, что технологии ТАС изменяют вязкость смеси, что улучшает удобоукладываемость и уплотнение смеси. В исследованиях М. С. Rubio, G. Martines, L. Vaena, F. Moreno, J. D'Angelo показали [24, 25], что эти технологии действуют как вспомогательные средства уплотнения и уменьшают необходимое усилие, которое требуется для уплотнения.

Еще одним преимуществом является возможность укладки в холодную погоду благодаря тому, что температура смеси ближе к температуре окружающей среды. Это означает, что снижение температуры смеси происходит менее резко. Такая близость температур продлевает сезон укладки, поскольку остается больше времени для укладки и уплотнения. Благодаря этому преимуществу ТАС можно перевозить на большие расстояния. Таким образом, производственные площадки могут быть расположены на больших расстояниях от площадок строительства дорог, а это означает, что асфальтирование возможно в далеко расположенных зонах.

Кроме того, снижение температуры укладки ТАС сокращает время строительства и открытия дорог, что особенно желательно в определенных условиях (например, восстановление аэропортов, городские дороги с интенсивным движением и т. д.) [27].

Технические преимущества

Во-первых, более низкая температура смешивания снижает окисление и старение битума и, таким образом, обеспечивает более долговечное покрытие за счет задержки усталостного растрескивания.

Во-вторых, значительно улучшенная обрабатываемость смеси при более низких температурах обеспечивает лучшую уплотняемость.

В-третьих, пониженная скорость охлаждения смеси (из-за низкой начальной температуры смеси) позволяет увеличить расстояние транспортировки от завода до рабочих площадок и улучшить возможности строительства в холодную погоду.

Все вышеупомянутые преимущества, которые характеризуют теплые асфальтобетонные смеси, делают их хорошей альтернативой традиционным горячим асфальтобетонным смесям, что предполагает расширение областей их применения в будущем. Применение ТАС в перспективе не может быть ограничено только строительством второстепенных дорог со средней интенсивностью дорожного движения и работами по техническому обслуживанию внутренних дорог. Это в настоящее время имеет место в ряде районов Соединенных Штатов Америки и во многих европейских странах [23]. Ожидается, что применение ТАС расширится и будет включать строительство основных дорог и аэропортов, а также техническое обслуживание и ремонта восстановленных дорог разных типов.

Все это возможно благодаря исследованиям, направленным на улучшение свойств асфальтобетонных смесей этого типа, а также нескольким уже начатым проектам по мониторингу характеристик дорог с теплым асфальтобетоном в полевых условиях и в долгосрочной перспективе [29, 30].

Во многих регионах мира теплые асфальтобетонные смеси являются доступным вариантом устройства слоев дорожного покрытия и хорошей альтернативой горячим асфальтобетонным смесям. Однако в других регионах применение технологии ТАС является необходимостью и наиболее подходящим для условий местности. Один из этих регионов, в котором технология ТАС наиболее подходящая по климатическим и местным условиям это Сирийская Арабская Республика (САР). Преимущество применения данной технологии в САР

обусловлено целым рядом технических и производственных факторов, помимо экономических и экологических.

Технические и производственные факторы

Сирийская Арабская Республика характеризуется стратегическим положением, связывающим континенты Европы и Азии, а также основным выходом для стран Арабского залива и Ближнего Востока на Средиземное море. Такое расположение сделало его важной станцией в транспортной сети между этими районами и повысило значение дорожной сети в САР [32, 40].

Дорожная сеть Сирии во всех ее категориях является основой экономической и общественной жизни, по которой перевозится более 80% людей и грузов по сравнению с другими видами транспорта [33 - 36]. На рисунке 1.2 показаны объем и распределение дорожной сети в Сирийской Арабской Республике [37, 38].



Рисунок 1.2. Дорожная сеть в Сирийской Арабской Республике

В течение последних десяти лет (с 2011 г.) вследствие сложных военно-политических и климатических условий, отсутствия периодического обслуживания и надзора были повреждены большие участки дорожной сети САР,

что привело к многократному увеличению потребности в строительных работах, связанных с восстановлением (ремонт или капитальным ремонтом) существующих автомобильных дорог и строительством новых [39].

Кроме того, изменения в планировке дорожной сети в результате военно-политических изменений и смены управления районов приводят к исключительным дорожным работам по изменению дорожной сети в разное время года и с относительно большими объемами работ, которые требуют определенного периода времени для выполнения.

Все вышеперечисленные факторы в дополнение к многочисленным преимуществам теплых асфальтобетонных смесей, делают эту технологию подходящей для данных условий, так как обеспечивают увеличение производства и завершение дорожных работ. Поскольку разница с температурой окружающей среды для ГАС меньше, чем для ГАС, падение температуры со временем менее существенно, что позволяет увеличить время укладки и уплотнения и также возможность продлить период сезона строительства. Улучшение условий труда бригады укладчиков за счет более низкой температуры укладки, что означает повышение производительности и качества. Возможность увеличения расстояния перевозки асфальтобетонной смеси благодаря возможности укладки при более низкой температуре и сокращение времени остывания покрытия из-за более низкой начальной температуры.

Экономические факторы

Автомобильные дороги классифицируются в Сирии в соответствии с их географическим положением городов на 6 категорий: государственные, провинциальные, уездные, сельские, городские и специальные дороги. Существует и множество других классификаций.

На рисунке 1.3 показано развитие протяжённости различных типов дорожных сетей в Сирии в зависимости от времени.

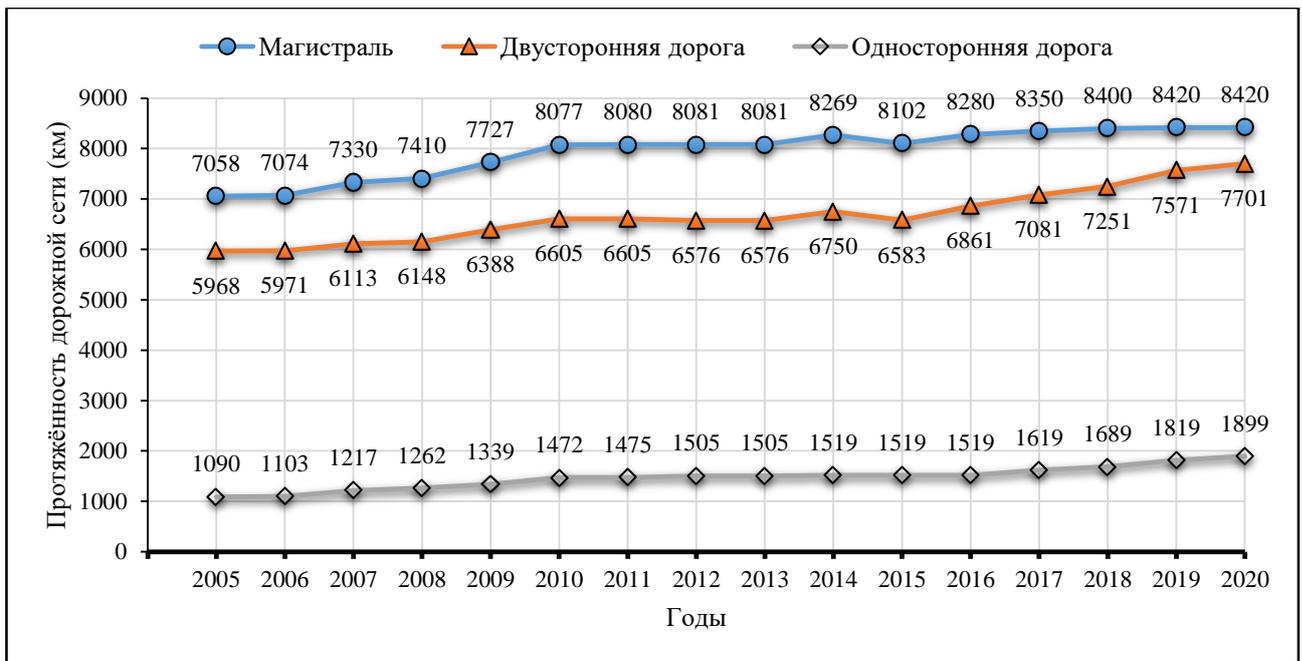


Рисунок 1.3. Протяжённость дорожной сети в Сирии (км) за 2005 – 2020 гг. [39 - 43]

Как было упомянуто ранее, эта дорожная сеть является основой экономической жизни в Сирии, поскольку она строилась в течение десятков лет и стоила больших экономических затрат. В результате войны, начавшейся в 2011 г., его большей части был нанесен значительный ущерб.

В отчете, опубликованном 10 июля 2017 года, Всемирный банк оценил общие потери сирийской экономики в 226 миллиардов долларов из-за продолжающегося кризиса в стране [44], который длится уже более шести лет до даты написания отчета. Военные действия привели к большим жертвам и разрушению инфраструктуры.

Сирийская экономика понесла большие убытки вследствие разрушения дорог, зданий, мостов, инфраструктуры и т. д. Согласно отчету, были разрушены или частично повреждены около 27% всех жилых зданий и около 44% дорожной сети CAP [40, 49], (см. рисунок 1.4).

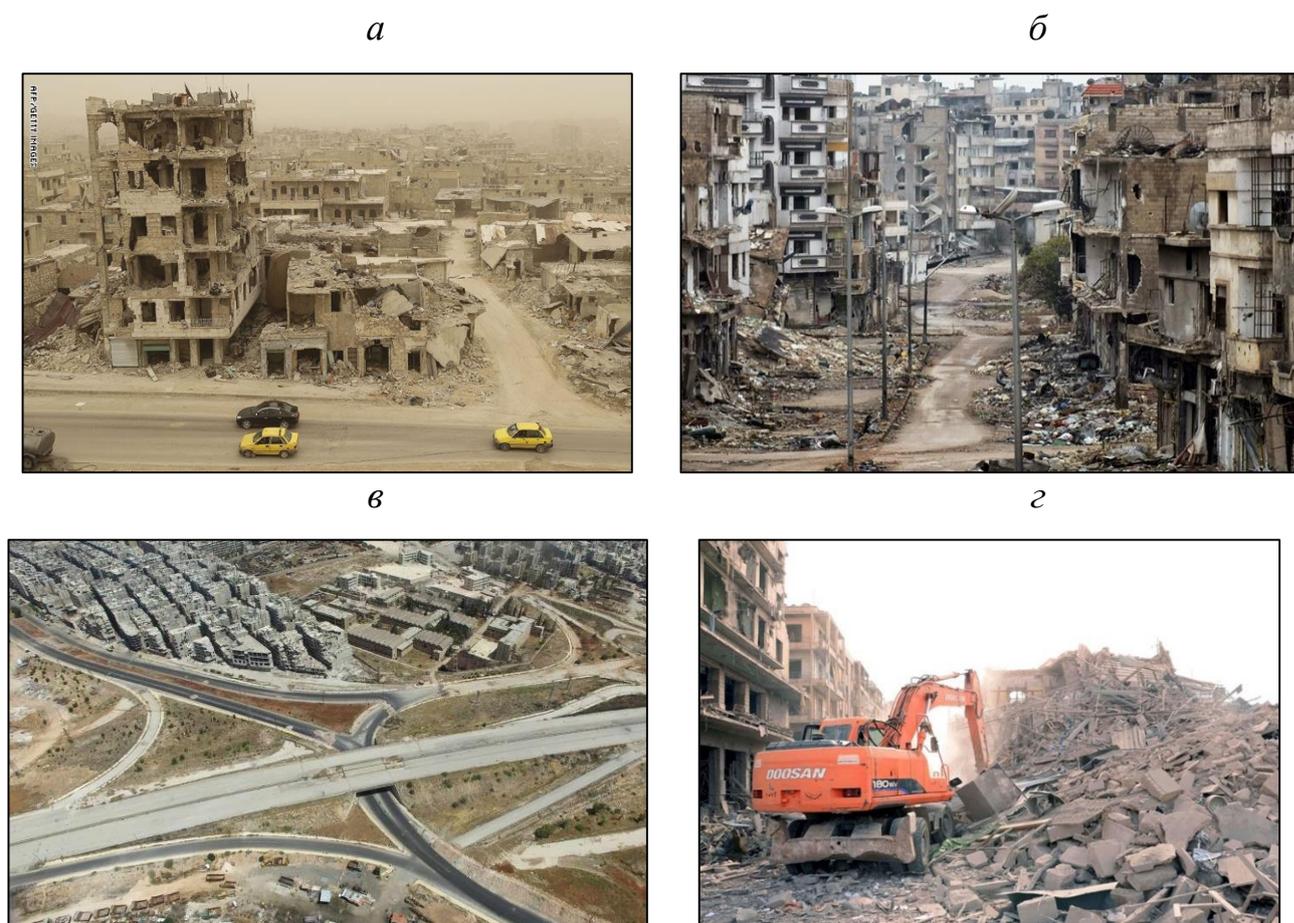


Рисунок 1.4. Состояние дорог в Сирии после военных действий: а – г. Алеппо [45]; б – г. Алеппо [46]; в – г. Дамаск [47]; г – г. Хомс [48]

В результате этой войны экономические ресурсы в Сирии сократились, помимо значительной нехватки источников энергии и топлива. Тенденция к применению технологии теплых асфальтобетонных смесей считается наиболее целесообразной для текущей экономической ситуации, так как позволяет сократить расходы на топливо за счет снижения энергозатрат как на этапах приготовления, так и при транспортировки и укладки. Кроме этого появляется возможность продление эксплуатационного периода асфальтобетонного завода благодаря низкой температуре в процессе производства тёплых асфальтобетонных смесей.

Экологические факторы

Экологические факторы выражают будущую ориентацию всех стран мира на противостояние климатическим изменениям и переходу к снижению различных загрязняющих веществ, образующихся в результате деятельности промышленных

отраслей. В дорожной отрасли, это переходы могут быть достигнуты за счет применения технологии теплого асфальтобетона в строительстве и ремонте дорог в Сирийской Арабской Республике.

Экономические выгоды следует оценивать параллельно вместе с экологическими выгодами. Если будут введены более строгие стандарты выбросов, у ТАС может быть более высокий экономический потенциал для его внедрения.

1.2 Анализ технологий приготовления и применения теплых асфальтобетонных смесей для устройства дорожных покрытий

Теплый асфальтобетон (в его традиционном понимании в СССР [50]) приготавливали на битумах пониженной вязкости либо жидких и укладывали при 40–80 °С (иногда до 100 °С).

Однако после уплотнения и охлаждения этого асфальтобетона и открытия дорожного движения, через некоторое время появлялось много дефектов и трещин. Эти дефекты были основаны недостаточной устойчивостью асфальтобетона к нагрузкам и влиянию воды [1, 50].

Из-за ряда технических причин и отсутствия исследований по совершенствованию технологии теплой асфальтобетонной смеси, этот тип асфальтобетона не получил широкого распространения. Его использование оставалось очень ограниченным в СССР, а затем и вовсе теплые асфальтобетонные смеси были исключены из ГОСТ 9128-84 [4].

Современные ТАС родились в Германии в середине 1990-х годов с использованием восков в качестве модификаторов вязкости мастичного битума [25]. С тех пор в Европе было разработано множество новых технологий, а в 2002 году ТАС были представлены в США [25, 27].

За последнее десятилетие США стали мировым лидером по внедрению технологий ТАС, здесь с 2009 года использование ТАС увеличилось на 416%, а в 2012 году 78,7 миллиона тонн или 26% асфальтобетонных смесей были произведены с применением одной из технологий теплого асфальтобетона [51 - 53].

Для такого прогресса есть много причин, наиболее важными из которых являются снижение энергопотребления, ограниченные выбросы и, возможно, самое важное, улучшение обрабатываемости асфальтобетона при аналогичных или даже более низких температурах по сравнению с ГАС.

В Европе использование ТАС не получило такого широкого распространения, как в США, и в настоящее время только небольшая часть асфальтобетонных покрытий производится в виде ТАС [54, 55].

Европейские страны используют ТАС больше как продукт для специальных приложений, а не как замену традиционному ГАС. Конкретные приложения часто включают проекты, требующие улучшенной технологичности, быстрого открытия (аэродромы, ночные работы, перекрестки) и экологически критичных участков.

На рисунке 1.5 показан рост количества теплых асфальтобетонных смесей за последние годы в Европе и США [56 - 58].

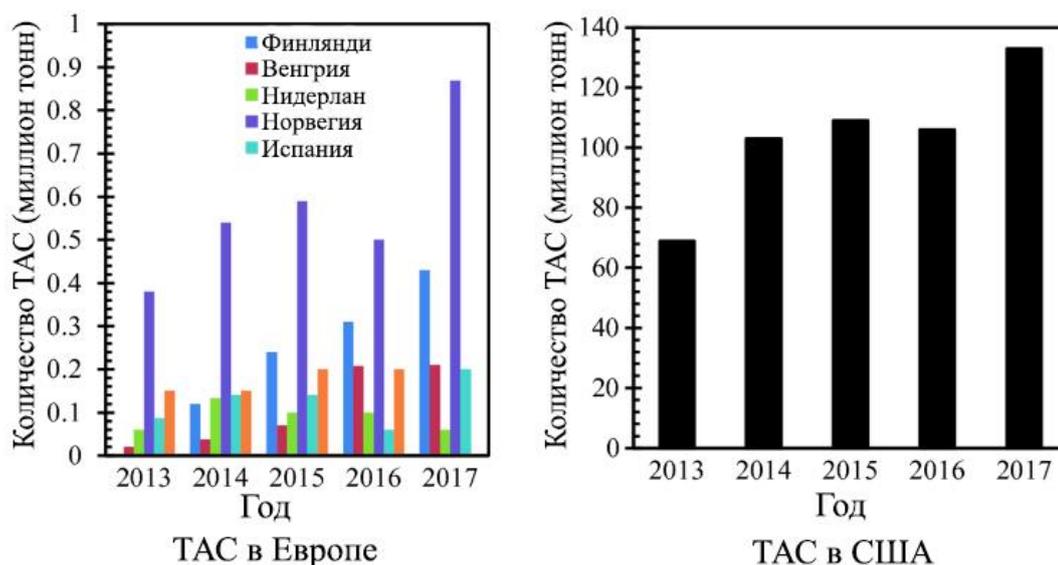


Рисунок 1.5. Рост количества теплого асфальтобетона в США и Европе

Технологии ТАС можно классифицировать несколькими способами. Один из них – классификация технологии по степени снижения температуры. Теплые асфальтобетонные смеси отличаются от полутеплых асфальтобетонных смесей по полученной температуре смеси. Существует широкий диапазон приготовленных температур теплой асфальтобетонной смеси. Диапазон начинается от продуктов, которые обещают быть на 10 - 20°C ниже, чем у горячей асфальтобетонной смеси,

до температур чуть выше 100°C, а для некоторых технологий даже ниже точки кипения воды [55, 59]. Обычная классификация асфальтобетонных смесей по температуре производства следующая [25, 60]:

- Холодная смесь (0-30°C);
- Полутеплая асфальтобетонная смесь (65-100°C);
- Теплая асфальтобетонная смесь (100-140°C);
- Горячая асфальтобетонная смесь (свыше 140°C).

Другой способ классификации ТАС — по технологиям, используемым для снижения температуры. Этот метод классификации позволяет более точно описать процесс технологии ТАС. В ходе обзора литературы не было обнаружено общей или широко используемой классификации технологий. Следующая классификация была сделана после обзора технологий, представленных на рынке, путем обобщения различных терминов, используемых в других исследованиях, чтобы обеспечить соответствие технологии производства с классификацией.

Были найдены следующие различные технологии:

- Технологии пенообразования (которые делятся на водозмульсионные и водосодержащие);
- Органические или восковые добавки;
- Химические добавки;
- Технология ТАС с маловязкостью битума.

Все существующие ТАС используют по крайней мере одну из этих технологий, но может быть и их комбинация.

Технологии пенообразования

Технологии вспенивания используют небольшое количество холодной воды, впрыскиваемой в горячее вяжущее или непосредственно в камеру смешивания битума. Вода быстро испаряется и инкапсулируется вяжущим, образуя большой объем пены. Вспенивающее действие вяжущего временно увеличивает его объем и снижает вязкость, что улучшает покрытие и удобоукладываемость [59].

Существует несколько доступных технологий пенообразования, которые можно разделить на две группы: на водосодержащие и приготовленные на водной основе [61, 62].

Технология водосодержащих добавок - в настоящее время доступны два типа технологий водосодержащих добавок ТАС – (Aspha-Min и Advera), обе эти технологии работают схожим образом. Они используют мелкодисперсный синтетический цеолит, подвергнутый гидротермальной кристаллизации. Цеолит содержит около 21 процента кристаллизационной воды, которая высвобождается при повышении температуры выше 85°C. Когда добавка добавляется в смесь одновременно с вяжущим, вода выделяется в виде мелкодисперсного облака, которое вспенивает вяжущее.

Вязкость вяжущего при высоких температурах снижается, что позволяет снизить температуру смешивания и укладки. В некоторых исследованиях предполагается [57, 25, 63], что эти материалы не изменяют качество вяжущего и получается эффект контролируемого пенообразования от 6 до 7 часов что позволяет повысить удобоукладываемость.

Технологии приготовленные на водной основе – они используют процесс вспенивания, который создается путем впрыскивания холодной воды в горячее битумное вяжущее с использованием специального оборудования или технологии. Вода быстро испаряется, образуя большое количество пены, которая медленно разрушается [61, 62].

Double Barrel Green, Ultrafoam GX, Aquablack WMA, Warm Mix Asphalt System — все эти процессы производства ТАС используют форсунки определенного типа для подачи воды в поток битумного вяжущего. Каждая технология использует оборудование, разработанное отдельной компанией. Форсунки управляются компьютером для регулировки скорости пенообразования. Добавляется небольшое количество воды для микроскопического вспенивания вяжущего. Вода образует пар, который инкапсулируется в вяжущем, что приводит к пенообразованию и увеличению объема вяжущего, что снижает вязкость и позволяет покрывать заполнители при более низких температурах [61].

Низкоэнергетические асфальтобетонные смеси – в этих смесях используется влажный мелкий заполнитель. Ключом к экономии энергии в этом процессе является то, что крупный заполнитель и часть мелкого заполнителя нагревают до нормальной температуры ГАС (около 150°C) и смешивают с вяжущим, содержащим обволакивающие и адгезионные добавки после того, как крупный заполнитель покрыт вяжущим, его смешивают с холодным влажным мелким заполнителем. Это приводит к пенообразованию, что способствует покрытию мелкого заполнителя. А в прошлых технологиях для превращения воды в пар требуется в пять раз больше энергии, чем для нагрева заполнителя от 0°C до 100°C [25, 61, 62].

В технологии пенообразования в целом вода, используемая в процессе приготовления ТАС, является одним из ее основных недостатков, поэтому необходимо добавлять достаточное количество воды для создания процесса пенообразования, не добавляя слишком много, что приводит к проблемам с расслаиванием. Для снижения воздействия воды некоторые производители рекомендуют использовать противокapельные добавки (адгезионные и обмазочные), чтобы асфальтобетонная смесь была менее чувствительна к влаге, а также усилить химическую адгезию между битумом и поверхностью агрегата [57, 64].

Технология органических или восковых добавок

Органические или восковые добавки используются для снижения температуры за счет снижения вязкости вяжущего. Процессы показывают снижение вязкости выше точки плавления парафина, что позволяет производить асфальтобетонные смеси при более низких температурах. После кристаллизации они увеличивают жесткость вяжущего и сопротивление деформации битума [65].

Среди самых популярных органических или восковых добавок:

Sasobit - он представляет собой воск Фишера-Тропша (ФТ) в виде белого порошка или гранулята (также «готовый к использованию» битум в Германии). Это побочный продукт процесса производства синтетического бензина, называемого процессом Фишера-Тропша, в котором содержание воска составляет около 10%.

Это длинноцепочечный алифатический углеводородный парафин с диапазоном плавления от 85°C до 115°C, высокой вязкостью при более низких температурах и низкой вязкостью при более высоких температурах [66, 67].

При охлаждении кристаллизация начинается при 105°C и завершается при 65°C с образованием равномерно распределенных микроскопических частиц палочковидной формы. При рабочих температурах (Sasobit) образует в битумном вяжущем решетчатую структуру, обеспечивающую стабильность смеси. Согласно [63, 67], при добавке 3% от массы вяжущего температура размягчения снижается на 20-35°C, а пенетрация падает на 15-25 x 0,1 мм. Это объясняет заявленную устойчивость к колееобразованию смесей, модифицированных Sasobit [67, 68].

Asphaltan A и Romonta N – они представляют собой воски Montan с температурой застывания 78°C и 125°C соответственно [66]. Это твердый воск, полученный экстракцией растворителем некоторых видов лигнита или бурого угля. Они оказывают такое же воздействие на битум, как и ФТ-парафины. Жесткость увеличивается после охлаждения, как и в случае с амидом жирной кислоты. Они использовались в качестве добавки для литого асфальта (gussasphalt) в Германии из-за возможности изменять консистенцию вяжущего и улучшать сцепление между вяжущим и минералами [63, 69].

Asphaltan-B - он представляет собой очищенный монтанский воск, смешанный с амидом жирной кислоты. Температура плавления Асфальтана-Б чуть ниже 100°C [25, 57]. Подобно парафинам ФТ, он улучшает текучесть битума при низких температурах, хотя и в несколько меньшей степени, чем парафины ФТ.

Одним из важнейших недостатков технологии органических или восковых добавок является возможность влияния добавок на термические характеристики наносимого битумного вяжущего, что может привести к хрупкости битума при низких температурах и его разжижению при высоких температурах. Следовательно, необходимо провести исследование, для тщательного выбора типа воска, чтобы температура плавления воска была выше ожидаемой при рабочих температурах и чтобы уменьшить хрупкость битума при низких температурах [25,61].

Технология химических добавок

Различные химические упаковки, которые включают в себя комбинацию эмульгаторов, поверхностно-активных веществ, полимеров и добавок для улучшения покрытия, удобоукладываемости и уплотнения смеси, а также усилители адгезии (агенты, препятствующие отслоению) используются в различных химических продуктах. Дозировка количества химических добавок и снижение температуры зависят от конкретного используемого продукта. Химические добавки используются либо в виде эмульсии, либо добавляется в битум в процессе производства смеси, а затем смешивается с горячим наполнителем [57, 61].

Из наиболее широко используемых химических добавок для приготовления ТАС:

Evotherm ET - она (эмульсионная технология) использует химический пакет эмульгаторов и добавок, препятствующих расслаиванию, для улучшения покрытия наполнителя, удобоукладываемости и уплотнения смеси. Evotherm составляет 30 процентов массы вяжущего и снижает вязкость вяжущего при более низких температурах смешивания, что приводит к полному покрытию наполнителей при той же температуре. Поставляется в виде битумной эмульсии. Различные химические пакеты доступны для разных типов наполнителей (с различными адгезионными агентами). Большая часть воды в эмульсии испаряется в виде пара, когда эмульсия смешивается с наполнителями. Этот процесс снижает температуру производства на 30 процентов [25, 70, 71].

Evotherm DAT - (технология дисперсного асфальта) она представляет собой тот же химический пакет, разбавленный небольшим количеством воды, который впрыскивается в асфальтопровод непосредственно перед смесительной камерой. Это снижает вязкость вяжущего при более низких температурах смешивания, что приводит к полному покрытию наполнителей. Этот процесс снижает температуру производства на 30% [25, 72].

Rediset WMX - она представляет собой комбинацию катионных поверхностно-активных веществ и модификатора реологических свойств на основе

органических добавок. Химически модифицирует битум и способствует активной адгезии, улучшающей смачивание заполнителей вяжущим. Другие компоненты добавки снижают вязкость вяжущего при температуре приготовления. Она находится в форме гранул и не содержит воды. Благодаря добавлению битума в количестве 1,5-2,0 % по весу позволяет снизить температуру производства на 15-30°C по сравнению с ГАС [57].

REVIX – это химическая добавка, которая не зависит от пенообразования или уменьшения вязкости для снижения температуры смешивания и уплотнения. Для этой технологии используются различные поверхностно-активные вещества, воски, технологические добавки, полимеры и другие материалы. Это позволяет снизить температуру примерно на 15-27°C по сравнению с аналогичной смесью ГАС [68, 73].

Наконец, применение технологии химических добавок может сопровождаться относительно небольшими модификациями, необходимыми для асфальтового завода или процесса разработки смеси.

Продукты трех наиболее широко используемых ранее технологий, доступных на рынке, и их описания перечислены в таблице 1.2. Эта таблица содержит сообщения об использовании соответствующих продуктов из литературы. Поскольку сообщаемые значения производственных температур не были одинаковыми во всех отчетах, наиболее часто сообщаемые данные или данные, поддерживаемые производственной компанией, перечислены первыми, а данные из различных исследований — после. Различия в отчетах могут быть вызваны различными факторами, такими как тип и количество используемых добавок, влажность материалов, метод расчета смеси, климатические условия, используемые материалы и т. д. Количество добавки для производства ТАС обычно зависит от используемых материалов, их соотношение и, особенно, марка и тип используемого битум.

Таблица 1.2 - Обзор продуктов, применяемых для производства ТАС

Продукт	Компания	Описание	Отчеты из стран	добавка	Производственная температура [или диапазоны понижения]
Технология вспенивания					
Aquablack WMA	MAXAM equipment	Процесс вспенивания на водной основе	США	-	Не определено
Double Barrel Green	Astec	Процесс вспенивания на водной основе	США	По выбору, антизадирное средство (антиэрозионного)	116-135°C* [25] 120°C [61]
Low Energy Asphalt	LEACO	На водной основе горячий крупный заполнитель, смешанный с влажным песком	США, Франция, Испания, Италия	0,5% от массы битума обмазочно-адгезионной добавки	≤100°C * [25, 87] 105-124°C [61]
Ultrafoam GX	Gencor Industries	Процесс вспенивания на водной основе	США	-	Не определено
Warm Mix Asphalt System	Terex Roadbuilding	Процесс вспенивания на водной основе	США	-	[<32°C]* [88]
LEAB	BAM	Смешивание заполнителей на водной основе при температуре ниже точки кипения воды	Нидерланды	0,1% от массы битума обмазочно-адгезионной добавки	90°C [25]
LT Asphalt	Nynas	Вспенивающее вяжущее на водной основе + гидрофильный наполнитель	Италия, Нидерланды	0,5-1,0% гигроскопичного наполнителя от массы смеси	90°C [25]
Advera	PQ Corporation	Технология водосодержащих добавок с использованием цеолита	США	0,25% циолета по массе смеси	[10-20]* [61] [20-30°C] [25]

Aspha-Min	Eurovia	Технология водосодержащих добавок, цеолит	США, Франция, Германия	0,3% циолета по массе смеси	[30°C]* [88] [12°C] [61] [20-30°C] [63]
Технология органических или восковых добавок					
Sasobit	Sasol	Воск Фишера-Тропша	США, Европа, весь мир	2,5-3,0% от массы битума в Германии 1-1,5% от массы битума в США (6; 2)	[10-30]* [61] [20-30°C] [25] [18-54°C] [89] 130-150°C [63]
Asphaltan A Romonta N	Romonta GmbH	Воск Montan для литого асфальта	Германия	1,5-2,0% от массы битума (22)	[20°C] [69]
Asphaltan B	Romonta GmbH	Рафинированный монтанский воск с амидом жирной кислоты для асфальтобетонного проката	Германия	2-4% от массы смеси (1)	[20-30°C] [25]
Технология химических добавок					
Evotherm ET	Mead-Westvaco	Химическая битумная эмульсия	США, Франция, по всему миру	Поставляется в виде битумной эмульсии	[50-75°C]* [25] [37-54°C] [61] >93°C [57] 85-115°C [25, 90]
Evotherm DAT	Mead-Westvaco	Химический пакет плюс вода	США, Франция, по всему миру	30% by weight of binder	[45-55°C]* [88] >93°C [57] 85-115°C [25]
Rediset WMX	Akzo Nobel	Катионные поверхностно-активные вещества и органическая добавка	США, Норвегия	1,5-2% от массы битума	[≥30°C]* [90] [16°C] [57] 126°C [61]
REVIX	Mathy-Ergon	Поверхностно-активные вещества, воски, технологические добавки, полимеры	США	Не определено	[15-26°C] [57]

* Диапазон температур от поставщика продукта

Технология ТАС с маловязкостью битума

Приготовление теплых асфальтобетонных смесей с маловязкостью битума является традиционной основной технологией, применяемой для снижения температуры приготовления и уплотнения асфальтобетона [74]. Современные технологии теплых асфальтобетонных смесей в значительной степени отличаются от традиционных технологий теплых смесей, применявшихся ранее в СССР. В первом случае используются модификаторы, добавки или вспенивание битума, а во втором, применялись специальные битумы маловязкости.

Применение технологии ТАС с маловязкостью битума было применено с большими ограничениями. Эту технологию применяли при аварийных ремонтах с реализацией некоторых участков которые были ограничены второстепенными дорогами вне строительного сезона. А также применяется при условиях, в которых трудно применять традиционные горячие асфальтобетонные смеси.

Применение этой технологии не получило широкого распространения и количество асфальтобетонных смесей, произведенных по этой технологии, сократилось в результате появления трещин через короткий промежуток времени. Покрытие из этой технологии было неспособно выдерживать транспортные нагрузки. Этому сопутствовало отсутствие исследований и заинтересованности в разработке свойств и устранение дефектов этой технологии [50, 75].

На основе этой технологии была разработана технология производства теплых асфальтобетонных смесей путем разжиженного битумного вяжущего во избежание дефектов, вызванных использованием маловязкого битумного вяжущего. Разжиженный битум представляет собой обычный вязкий битум, который разжижается углеводородным материалом путем снижения битума в результате снижения температуры необходимой для приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси. Затем со временем материалы расширителя постепенно улетучиваются, чтобы через некоторое время вернуть вязкость битума к нормальным значениям (период времени зависит от типа разжижителя, температуры окружающей среды и т. д.) [57, 60].

На рисунке 1.6 примерное показание поведения разжиженного битума по сравнению с вязким битумом с течением времени [69, 72].

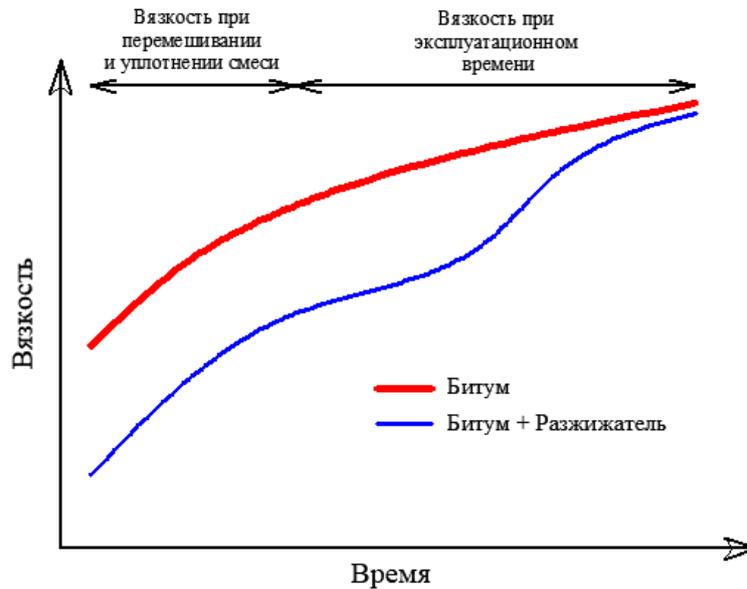


Рисунок 1.6. Изменение разжиженного битума во времени

Технология химических добавок аналогична технологии ТАС с использованием разжиженного вяжущего, где первая технология зависит от материалов, снижающих поверхностное притягивание между компонентами асфальтобетонной смеси и тем самым снижающих температуру смешения и уплотнения, а затем смешивание ряда добавок для улучшения свойств асфальтобетонной смеси. Вторая технология зависит от разжиженного вяжущего для снижения температуры смешания и уплотнения при отсутствии добавок, улучшающих механические и эксплуатационные свойства, что изучается в этом исследовании.

Одним из важнейших преимуществ данной технологии является простота ее применения, использование доступных местных материалов вместо дорогостоящих материалов зарубежного производства, которые резко увеличивают общую стоимость проекта. Ещё одно из преимуществ - отсутствие необходимости в дополнительном оборудовании, которые используются для предотвращения сложностей, сопровождающие применение других технологий

производства, и дополнительных затрат, которые могут возникнуть в результате применения этих технологий:

- требования к инвестициям и модификации установки;
- затраты на материалы, используемых при производстве ТАС в других технологиях;
- возможные затраты на подготовку технических кадров, необходимых для контроля и качества выполнения работы.

Помимо преимуществ теплых асфальтобетонных смесей в целом, выше перечисленные преимущества делают эту технологию наиболее подходящей для применения в условиях Сирийской Арабской Республики. Особенно при ее разработке по технологии, улучшающей ее механические и эксплуатационные свойства.

На рисунке 1.7 дана сравнительная схема традиционной технологии горячей асфальтобетонной смеси и технологии теплой асфальтобетонной смеси с использованием разжиженного битума.

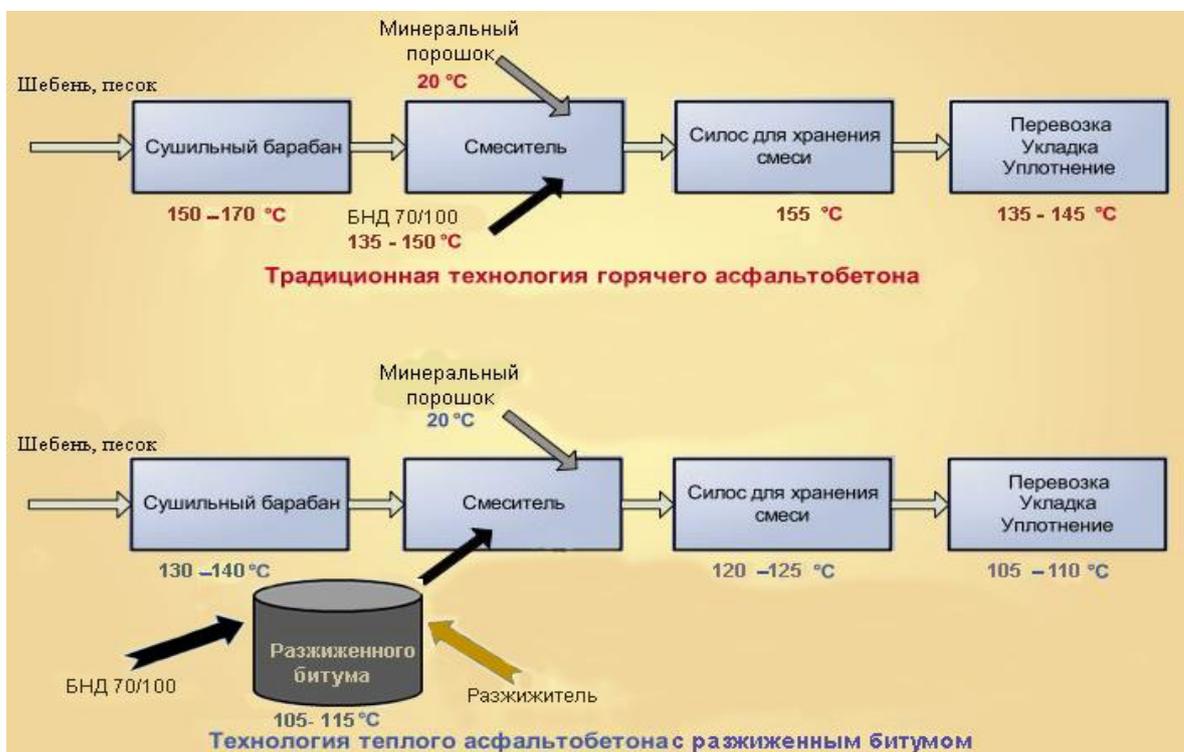


Рисунок 1.7. Сопоставление схем технологий традиционного ГАС и ТАС с разжиженным битумом

1.3 Использование модификаторов в теплых асфальтобетонах для повышения показателей их структурно-механических свойств и срока службы дорожных покрытий

Хорошая асфальтобетонная смесь — это та, которая обеспечивает все или большинство основных свойств, влияющих на характеристики разработанной асфальтобетонной смеси.

Модификация асфальтобетонных смесей не нова, особенно для горячих асфальтобетонных смесей, так как они уже давно используются при мощении дорог, поэтому в этой области имеется множество исследований и практических опытов, направленных на устранение дефектов и проблем, появившихся в этих смесях. До сих пор продолжаются исследования и эксперименты для получения экспериментальных, модифицированных и экономичных асфальтобетонных смесей, которые могут противостоять дефектам и искажениям, от которых страдает асфальтобетонная смесь.

Соответственно, многие модификаторы уже улучшили характеристики асфальтобетонной смеси, например: вспученная сера повышала твердость и сопротивление асфальтобетонной смеси; технический углерод увеличил вязкость битума при высоких температурах; известь улучшала сцепление битума с минеральными материалами; каучук и волокна улучшали эластичность и адгезию асфальтового вяжущего [76 – 79, 111, 112]. Каждый из модификаторов помог решить ряд проблем. Кроме того, в качестве модификаторов асфальтобетонной смеси использовались полимеры, большинство полимерных добавок придают асфальтобетонной смеси свойства и поведение полимерной добавки, хотя они не работают так же и не имеют такого же эффекта, но в целом они улучшают свойства асфальтобетонной смеси и снижают термическую чувствительность. Начиная с низких значений температур вплоть до увеличения значения точки размягчения [79 – 81, 114]. Один из самых известных полимеров, применяемых при модификации асфальтобетонной смеси: (Полиэтилен, Полипропилен, Неопрен, Стирол-бутадиен-стирол (СБС), Этиленвинилацетат (ЭВА)).

Слово «модификатор» представляет собой широкую и сложную область, включающую множество материалов, поэтому (Террел и Эппс) модификаторы разделили на десять категорий, как показано в таблице 1.3. Каждая из этих категорий обладает уникальными свойствами которые отличают их от других категорий, и каждая категория включает в себя несколько модификаторов. Эта классификация является динамической, так что ее можно изменять, модифицировать и добавлять новые модификаторы, которые могут оказаться эффективными для модификации и улучшения свойств асфальтобетонной смеси [82 - 84]:

Таблица 1.3 - Общая классификация модификаторов асфальтобетонных смесей

Категория модификатора	Примеры модификаторов
1. Наполнитель	Минеральный наполнитель: Известь Портландцемент Летучая Зола Черный углерод Сера
2. Удлинитель	Сера Лигнин
3. Резина а. Натуральный латекс б. Синтетический латекс с. Блок-сополимер д. Восстановленная резина	П О Л И М Е Р Ы Натуральная резина Стирол-бутадиен (СБР) Стирол-бутадиен-стирол (СБС) Переработанные шины Полиэтилен Полипропилен Этилен винил ацетат (ЭВА) Поливинилхлорид (ПВХ)
4. Пластик	
5. Комбинация	
6. Волокна	Естественные: Каменная вата искусственные: Полипропилен Полиэстер Стекловолокно
7. Окислитель	Марганцевые соли

8. Антиоксидант	Соединения свинца Углерод Соли кальция
9. Углеводород	Переработка и омоложение масел Упрочняющие и природные асфальты
10. Адгезионные добавки	Амины Известь

Теплые асфальтобетонные смеси – это современная технология, появившаяся в своем усовершенствованном виде с девяностых годов прошлого века, поэтому исследования, направленные на улучшение ее свойств и решение проблем, возникших в последний эксплуатационный период, начались не так давно и до сих пор в небольшом количестве [85]. Исследования в основном были сосредоточены на разработке технологий получения ТАС с целью поиска добавок, позволяющих снизить температуру приготовления и уплотнения с минимальными сопутствующими дефектами [86], не претендуя на улучшение показателей физико-механических свойств асфальтобетона за счет использования любого типа известных или новых модификаторов асфальтобетонных смесей. Большинство добавок ограничивались рекомендациями производителей материалов, использовавшихся в предыдущих технологиях производства (технологии пенообразования, органические и химические добавки) по добавлению адгезионные добавки и улучшающих адгезию [25, 57, 61].

Например, компания (АСТЕК и LEACO) [25, 61, 87], которая использует в производстве ТАС технологию пенообразования, рекомендовала использование любого типа антиэрозионного материала для уменьшения дефектов зернистого расслоения минеральных материалов, в дополнение к материалу, улучшающему адгезию, из расчета 0,5% от массы битума.

Исследования в 2019, Z. Jiantong, L. Kai [91] об улучшении свойств теплой асфальтобетонной смеси добавлением модификатора СБС, в результате показали, что температура размягчения трех видов теплой асфальтобетонной смеси, модифицированной СБС, выше, чем точка размягчения обычной теплой асфальтобетонной смеси. Это указывает на то, что теплая асфальтобетонная смесь, модифицированная СБС, может улучшить высокотемпературную стабильность

битума. Три вида теплой смеси делают битум, модифицированный СБС, твердым, а консистенция и способность противостоять деформации увеличиваются.

В 2021 году L. Qiang, S. Guangxu, L. Yang, M. Yuanpeng, S. Sang, G. Lei [92], изучили характеристики теплых асфальтобетонных смесей, изготовленных с использованием технологий (Sasobit и Evotherm). Исследование пришло к выводу, что добавление стирол-бутадиен-каучука (СБС-каучук) повышает устойчивость к колееобразованию и незначительно изменяет стойкость к усталостной трещине. В целом рекомендуется использовать соответствующие модификаторы, чтобы компенсировать потерю характеристик укладки, вызванную использованием технологий ТАС.

A. Behnood, M. M. Karimi, G. Cheraghian [93], в 2020 году исследовали влияние добавления различных модификаторов (полифосфорная кислота (ПФК), стирол-бутадиен-стирол (СБС) и шинный каучук) на физико-механические свойства теплых асфальтобетонных смесей, изготовленных с использованием технологий (Sasobit и Evotherm). Проведенное исследование показало, что влияние добавки-модификатора на свойства теплых асфальтобетонных смесей не связано с типом технологии производства теплых асфальтобетонных смесей.

В 2020 году, N. A. Awazhar, F. H. Khairuddin, S. Rahmad, S. M. Fadzil, H. A. Omar, N. I. Yusoff, K. H. Badri [94], провели исследование, направленное на улучшение свойств теплых асфальтобетонных смесей с использованием полиуретанового модификатора. Это исследование показало, что добавление полиуретана приводит к увеличению вязкости вяжущего при различных температурах. Полиуретан также улучшил межфазную адгезию между вяжущим и заполнителем. Исследование также показало, что модификатор полиуретана не влияет на кристаллическую структуру битумных вяжущих, а он обладает способностью улучшать удобоукладываемость вяжущего при низкой температуре.

M. Sukhija, N. Saboo, A. Pani провели исследование в 2023 году [95], в ходе которого было определено, что повреждение влагой является серьезной проблемой для асфальтовых покрытий, что особенно возрастает, когда применяются некоторые технологий приготовления ТАС. Влияние различных технологий ТАС

на влагостойкость асфальтобетона было изучено с помощью различных экспериментальных исследований, включая коэффициент прочности сцепления, оставшуюся стабильность по Маршаллу и коэффициент предел прочности на растяжение. Теплые асфальтобетонные смеси были приготовлены с использованием пяти материалов, классифицированных как органические, химические и пенообразующие технологии. Повреждение влагой встречается во всех смесях ТАС. (Rediset), химикат, используемый при приготовлении теплых асфальтобетонных смесей по химическим технологиям, показал более высокую влагостойкость по сравнению с другими технологиями.

Технология теплых асфальтобетонных смесей с разжиженным битумом позволяет снизить температуру приготовления и уплотнения без применения специальных материалов и оборудования и получить асфальтобетонную смесь, аналогичную по своим свойствам горячим асфальтобетонным смесям. В отличие от других технологий добавками здесь являются не материалы, необходимые для получения теплой асфальтобетонной смеси (как в технологии пенообразования или с органическими или химическими добавками), скорее, эти модификаторы, которые могут быть применены для улучшения физико-механических свойств асфальтобетона и устранения дефектов, сопровождающих его в течение срока эксплуатации, таким образом, достижения свойств модифицированных горячих асфальтобетонных смесей.

Простота применения этой технологии и отсутствие ее зависимости от специальных материалов в процессе производства снижает материально-технические затраты и позволяет применять различные виды модификаторов в зависимости от исследуемой ситуации и эксплуатационно-климатических условий в районе применения теплого асфальтобетона.

Одними из наиболее частых дефектов, проявляющихся при эксплуатации дорожных одежд, являются: трещины в дорожных покрытиях различного вида и колеяность, возникающая в результате движения автотранспорта, и, особенно, в теплые периоды года. Вероятность появления этих дефектов возрастает при укладке теплых асфальтобетонных смесей в целом и особенно в долгосрочной

перспективе, так как этот тип смеси готовится и уплотняется при низких температурах.

Самым серьезным дефектом, появляющимся на покрытии, является колейность, которая является неизбежным признаком недостаточной прочности и сдвигоустойчивости верхних слоев дорожных одежд. Колееобразование на асфальтобетонном покрытии возникает вследствие сочетания воздействия не него различных эксплуатационных факторов. Интенсивность процесса колееобразования зависит от свойств дорожно-строительных материалов, применяемых для устройства конструктивных слоев дорожных одежд, конструктивного строения дорожной одежды, характера и режима приложения транспортной нагрузки, в первую очередь, от грузонапряженности и скорости движения транспортных средств [96, 97, 113, 115].

Появление колееобразования на покрытии означает, что автодорога нуждается в капитальном ремонте и требуются существенные затраты ресурсов на восстановление эксплуатационных свойств дорожных конструкций. Дорожные работы затрудняют движение местного и транзитного транспорта. И, этот цикл затрат ресурсов и неудобств для дорожного движения по причине проводимых дорожных работ может повторяться через короткие промежутки времени, т.е. межремонтный период снижается и составляет не более 4-6 лет [98, 99].

Одним из наиболее эффективных путей повышения устойчивости асфальтобетонного покрытия к колееобразованию и трещинам в дорожных покрытиях является применение метода полимерно-дисперсное армирование (ПДА). Метод полимерно-дисперсного армирования заключается в введении в процессе приготовления асфальтобетонной смеси дисперсного модификатора, включающего полимерные, резиновые и минеральные компоненты, и равномерное его распределение в объеме получаемой горячей смеси с целью улучшения физико-механических и эксплуатационных характеристик асфальтобетона [97, 100].

Метод ПДА асфальтобетона позволяет [100, 101]:

- создает пространственную армирующую решетку в структуре материала дорожного покрытия;

-повышает прочность асфальтобетона при сдвиге, особенно, при высокой температуре;

- повышает прочность асфальтобетона при растяжении и улучшает его деформативность при отрицательных температурах;

-улучшает усталостную прочность материала покрытия.

Улучшение структуры асфальтобетона путем его дисперсного армирования происходит за счет равномерно распределенные зерен в асфальтобетонной смеси, которые действуют как точки упругости, повышающие сопротивление асфальтобетона к образованию колейности и трещин. Гранулы дисперсного модификатора, распределенные в асфальтобетоне, снижают напряжения, возникающие в результате приложения транспортных и температурных нагрузок. Указанный метод повышает устойчивость асфальтобетона к образованию дефектов от влияния дорожного движения и климатических условий, что позволяет увеличить межремонтные сроки дорожных одежд.

Влияние дисперсных добавок на свойства асфальтобетона и характеристики асфальтобетонного покрытия разное, и зависит, в том числе от качества используемой резиновой крошки и компонентов модификатора [100, 104].

В таблице 1.4 приведены сведения о наиболее широко используемых полимерных добавках на российском рынке [102].

Таблица 1.4 - Сведения об используемых полимерных добавках на российском рынке

№ п/п	Название добавки, вид полимера или полимерного материала	Название основных составляющих веществ и химических соединений	Физическое состояние и товарная форма	Температура, °С/время, распределения добавки в битуме, минуты
1	2	3	4	5
1	KTR 101, термоэластопласт	Сополимеры (стиролбутадиен) ×2 линейной структуры	Пористая крошка белого цвета	200/40
2	KTR 103, термоэластопласт	Сополимеры (стиролбутадиен-стирол) линейной структуры	Пористая крошка белого цвета	200/40

3	Суперпласт, термопласт	Смесь переработанных из вторичного сырья полимеров этилена	Цилиндрические гранулы серого цвета	190/50
4	РТЭП-М, термопласт	Многокомпонентная композиция на основе полиолефинового носителя	Гранулы черного цвета	200/60
5	КМА КОЛТЕК, дробленая резина	Дробленая резина с добавками	Порошок черного цвета	190/30
6	УНИРЕМ-002, дробленая резина	Дробленая резина с добавками	Гранулы черного цвета	190/30

Добавка РТЭП-М предназначена для применения в качестве модификатора асфальтобетонных смесей в целях получения полимерно-дисперсно-армированных асфальтобетонов для дорожного строительства.

В полном объеме выполнять функции и преимущества полимерного и дисперсного армирования может добавка – резиновый термоэластопласт (РТЭП-М). Использование РТЭП-М в составе асфальтобетонных смесей обеспечивает повышение качества и срока службы асфальтобетонных покрытий за счет создания полимерно-армированного укрепленного материала [103].

Модификатор РТЭП-М представляет собой многокомпонентную композицию на основе полимерного носителя, резиновой крошки, минерального компонента и дорожного битума.

Асфальтобетонные смеси с введением модификатора РТЭП-М применяют при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте автомобильных дорог I, II, III и IV технических категорий в условиях I-V дорожно-климатических зон в соответствии с действующими стандартами [96, 97].

Производство асфальтобетонных смесей с применением модификатора РТЭП-М не требует изменения технологического режима работы асфальтосмесительной установки отечественных АБЗ, в том числе температурного режима и времени изготовления асфальтобетонной смеси, переналадки оборудования. Модификатор РТЭП-М вводится в смеситель асфальтобетонной смеси на горячий минеральный материал перед дорожным битумом.

Состав модификатора полностью соответствует современным правилам и стандартам безопасности, которые предъявляются всем добавкам для асфальтовых и бетонных смесей, (см. рисунок 1.8).



Рисунок 1.8. Модификатор асфальтобетона-резиновый термоэластопласт (РТЭП-М)

Сравнительные характеристики и область применения модификатора РТЭП-М с аналогами (КМА «Колтек», УНИРЕМ, Эладорм – Б) представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Сравнительные характеристики и область применения модификатора РТЭП-М с аналогами

Технико-экономические параметры продукта	Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3	Продукт исследования
Название продукта	КМА «Колтек»	УНИРЕМ	Эладорм – Б	РТЭП-М
Нормативный документ	ТУ 5718-027-17423242-2009	СТО 44419355-001-2015	СТО 44419355-004-2017	ТУ 20.59.59-39952490-001-2020
Предприятие изготовитель	ООО «КОЛТЕК-Спецреагенты»	ООО «НТС»	ООО «НТС»	ООО «ПОЛИМЕРТЭК»

Область применения	комплексный модификатор битума и асфальтобетона	для устройства верхних и нижних слоев покрытий автомобильных дорог	для, модифицирования асфальтобетонных смесей типов А и Б; смеси АНТ для нижнего слоя покрытия и АВТ для верхнего слоя покрытия	повышение качества и сроков службы асфальтобетонных покрытий при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог, мостов и аэродромов
Способ применения	Рекомендованы довливать КМА «КОЛТЕК» после введения битума	Модификатор «Унирем» не требует предварительного подогрева и вводится в смеситель асфальтобетонной смеси одновременно с битумом	Модификаторы вводятся в смеситель асфальтобетонной смеси одновременно с битумом или сразу после его введения	В сухой состоянии введение РТЭП-М непосредственно на разогретые каменные материалы

РТЭП-М был разработан и испытан на горячих асфальтобетонных смесях в Ростове-на-Дону, и показал хорошие результаты на южных дорогах России [105]. Положительно отзываются о РТЭП-М дорожники Ставропольского и Краснодарского краев.

Существует множество исследований, показавших преимущества, которые дает этот модификатор при добавлении в асфальтобетонную смесь.

С. К. Илиополов, Е. В. Леконцев, С. А. Чернов, А. В. Каклюгин [106], В результате проведенных ими исследований установлено замедление процессов термоокислительного старения горячей асфальтобетонной смеси, приготовленной с использованием модификатора РТЭП-М, как при кратковременном (K_S), так и при долговременном (K_L) старении.

Уменьшение коэффициентов K_S и K_L существенно свидетельствует о замедлении процесса старения асфальтобетона в процессе приготовления смеси, уплотнения и эксплуатации покрытия.

И. В. Мардиросова, Е. В. Леконцев, А. В. Каклюгин [107] показали что, для повышения устойчивости асфальтового вяжущего к процессам старения предложен комплексный модификатор из резинового термоэластопласта РТЭП-М и резиновой крошки. Модифицирующая добавка РТЭП вводилась в вяжущее в количестве 0,3 %, а резиновая крошка от 0,9% до 1,3%, с шагом через 0,2%.

Показатель старения растяжимости $K_{сд}$ вяжущего, не содержащего модифицирующую добавку, составлял 24,5%, в то время, как у состава с добавкой 0,3 % РТЭП-М и 1,1% резиновой крошки, он понизился до 9,3 %, т.е. более, чем в 2,5 раза и при больших ее концентрациях наблюдается дальнейшее его понижение.

При содержании РТЭП-М в количестве 0,3 % и резиновой крошки 1,1 %, коэффициент старения при температуре размягчения $K_{сТр}$ характеризуется невысокими значениями и температура размягчения повышается по сравнению с не модифицированным вяжущим от 54 °С до 76 °С.

Коэффициент старения асфальтового вяжущего $K_{сТх}$ в этом случае снизился от 13,3 % до 7,4 %, т.е. процесс старения модифицированного вяжущего по этому показателю по сравнению с не модифицированным замедлился в 1,8 раза, что благоприятно сказывается на повышении работоспособности асфальтобетона в зимних условиях.

А. Г. Доля, А. А. Стукалов, Д. Э. Жердев [108], в ходе своих исследований обнаружили, что использование модификатора РТЭП-М в щебеночномастичных смесях позволяет: оптимизировать состав и стабилизировать однородность состава щебеночномастичной смеси на стадии приготовления; повысить прочностные характеристики щебеночномастичного асфальтобетона марок ЩМА-10 и ЩМА-15 на 25-50 и 20...40 % соответственно; снизить водонасыщение и повысить плотность асфальтобетона на 20...25 %; повысить трещиностойкость асфальтобетона на 20...25 %; повысить коэффициент водостойкости на 8...15 % и в 1,7...2,0 раза срок службы асфальтобетонных покрытий.

Ю. В. Хижняк, Р. Р. Шахмуратьян, А. С. Какишев [109], Представленные результаты исследований свидетельствуют о положительном влиянии добавки РТЭП на физико-механические свойства ЩМА-10. Увеличение содержания

модификатора в ЩМА повышает сопротивление к расслоению смесей (на 35-37%) и уменьшает водонасыщение в сформованных образцах (на 23-24%), что объясняется улучшением сцепления модифицированного вяжущего с поверхностью минеральных материалов.

При этом заметно улучшается водостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона как при ускоренном (на 8-10%), так и при длительном водонасыщении (на 7-15%). Показатель сдвигоустойчивости $tg\varphi$ возрастает с 0,88 до 0,93. Наибольший рост коэффициента водостойкости наблюдается при введении РТЭП в количестве 0,3%. Следует также отметить значительное повышение прочностных характеристик и трещиностойкости, которая увеличивается с 3,47 до 4,19 МПа.

С. А. Чернов, А. В. Каклюгин, А. Н. Никитина, К. Д. Голубин [110], По результатам испытаний контрольных образцов исследуемых асфальтобетонов на устойчивость к накоплению остаточных деформаций выявлено, что наличие добавки РТЭП-М позволяет увеличить их устойчивость в 2,3–3 раза по отношению к асфальтобетонам без полимерно-дисперсного армирования (ПДА) добавки.

В результате экспериментальных исследований установлены рациональные режимы приготовления ПДА-смесей и выявлено, что модификация асфальтобетонов добавкой РТЭП-М обеспечивает повышение их устойчивости к колееобразованию в 2,4–2,7 раза, устойчивости к накоплению остаточных деформаций и усталостному трещинообразованию в 2,3 раза и выше.

Доступность материалов, входящих в состав ставки модификатора РТЭП-М, несложность технологии ее производства и его влияние на улучшение свойств асфальтобетона делает его одной из наиболее подходящих модификаторов для ее применения в условиях Сирийской Арабской Республики путем изучения возможности разработки технологии повышения транспортно-эксплуатационных свойств теплых асфальтобетонных смесей с использованием полимерно-дисперсного армирования путем модификатора РТЭП-М, при строительстве, реконструкции и ремонте покрытий дорог в Сирии [100].

1.4 Выводы по первой главе

1. Строительство, ремонт и реконструкция автомобильных дорог в Сирийской Арабской Республике после больших разрушений, нанесенных большим участкам сети дорог в результате военных действий в течение последних лет, требует новых подходов и нетрадиционных технологий, которые должны отвечать всем текущим и будущим требованиям (экономическим, техническим, климатическим и эксплуатационным) с учетом общемировой тенденции сохранения окружающей среды, противодействия изменению климата и минимизации вредных выбросов.

2. Производство и применение теплых асфальтобетонных смесей является одним из наиболее эффективных современных направлений развития технологии строительства дорожных покрытий. Все преимущества ТАС особенно актуальны для регионов мира, пострадавших от стихийных бедствий или военных действий, таких как САР.

3. В ходе обзора литературы не было обнаружено общих или широко используемых классификаций технологий. После обзора технологий, представленных на рынке, чтобы обеспечить соответствие технологии производства, была выделена следующая классификация:

- Технологии пенообразования;
- Органические или восковые добавки;
- Химические добавки;
- Технология ТАС с маловязкостью битума.

Все существующие ТАС используют по крайней мере одну из этих технологий, но может быть и их комбинация.

4. Технологии производства теплых асфальтобетонных смесей (пенообразование, органические и химические добавки) требуют дорогих специальных материалов и оборудования, а также сложного контроля и управления этапами производства, что в настоящее время не может широко использоваться в САР. Технология производства модифицированных ТАС с малой

вязкостью используемого битума позволяет снизить температуру приготовления и уплотнения, а также энергозатраты без применения специальных материалов и оборудования.

5. Полимерно-дисперсное армирование с использованием модификатора РТЭП-М является одним из способов увеличения срока службы асфальтобетонных слоев дорожных конструкций и повышения устойчивости асфальтобетонного покрытия к колееобразованию и трещинам в дорожных покрытиях. Вероятность появления этих дефектов возрастает при технологии теплых асфальтобетонных смесей с малой вязкостью битума в целом и особенно при долговременном старении.

6. Одним из наиболее частых дефектов, проявляющихся при эксплуатации дорожных одежд из ТАС, является колейность на покрытии, возникающая в результате движения автотранспорта в регионах с жарким климатом. Следовательно, задача разработки технологии производства и применения теплого асфальтобетона для строительства и ремонта автомобильных дорог в Сирийской Арабской Республике, обладающего необходимым комплексом транспортно-эксплуатационных показателей, и способного противостоять воздействию длительных динамических нагрузок является актуальной в настоящее время.

Цель работы. Целью работы является разработка и обоснование применения тёплого модифицированного асфальтобетона для устройства и ремонта дорожных покрытий в условиях Сирийской Арабской Республики.

Для достижения этой цели необходимо выполнить **следующие задачи:**

- на основании анализа технической литературы и результатов, ранее проведенных исследований, обосновать целесообразность применения технологий производства и применения теплых модифицированных асфальтобетонных смесей при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог в условиях Сирийской Арабской Республики;

- выполнить моделирование эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в климатических условиях САР и провести оценку долговечности дорожных покрытий;

- запроектировать дорожные конструкции с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона (ТМА) и провести их расчет с учетом природно-климатических условий Сирийской Арабской Республики;

- установить эффективность метода полимерно-дисперсного армирования (ПДА) для приготовления модифицированных ТАС при строительстве автомобильных дорог с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях САР и разработать технологическую основу для их производства;

- определить долговечность ТМА в покрытии в условиях интенсивного дорожного движения путем оценки его устойчивости к колееобразованию.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЁПЛОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ СИРИИ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Обоснование расчета дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях восточных регионов Сирийской Арабской Республики

2.1.1 Обоснование расчетных значений параметров для расчета дорожной конструкции в условиях сухого и жаркого климата восточных регионов Сирии

Известно, что при расчете дорожных одежд выбирают условия, которые способны привести к наиболее опасному состоянию дорожной конструкции, что будет сопровождаться появлением и развитием процесса их разрушения. В 1 главе настоящего диссертационного исследования рассмотрена зависимость физико-механических и эксплуатационных свойств асфальтобетона от температуры. Поэтому, в качестве наиболее опасных условий эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона выбраны условия восточных регионов Сирии с сухим и жарким климатом.

При обосновании дорожной конструкции выполнена адаптация исходных данных в виде природно-климатических особенностей восточных регионов Сирийской Арабской Республики и принятых принципов конструирования дорожных одежд. Динамика изменения температуры, влажности воздуха, количества осадков и числа солнечных часов для восточных регионов Сирийской Арабской Республики показана на диаграммах на рисунке 2.1. Графики построены по данным климатологических источников и справочников [116-121].

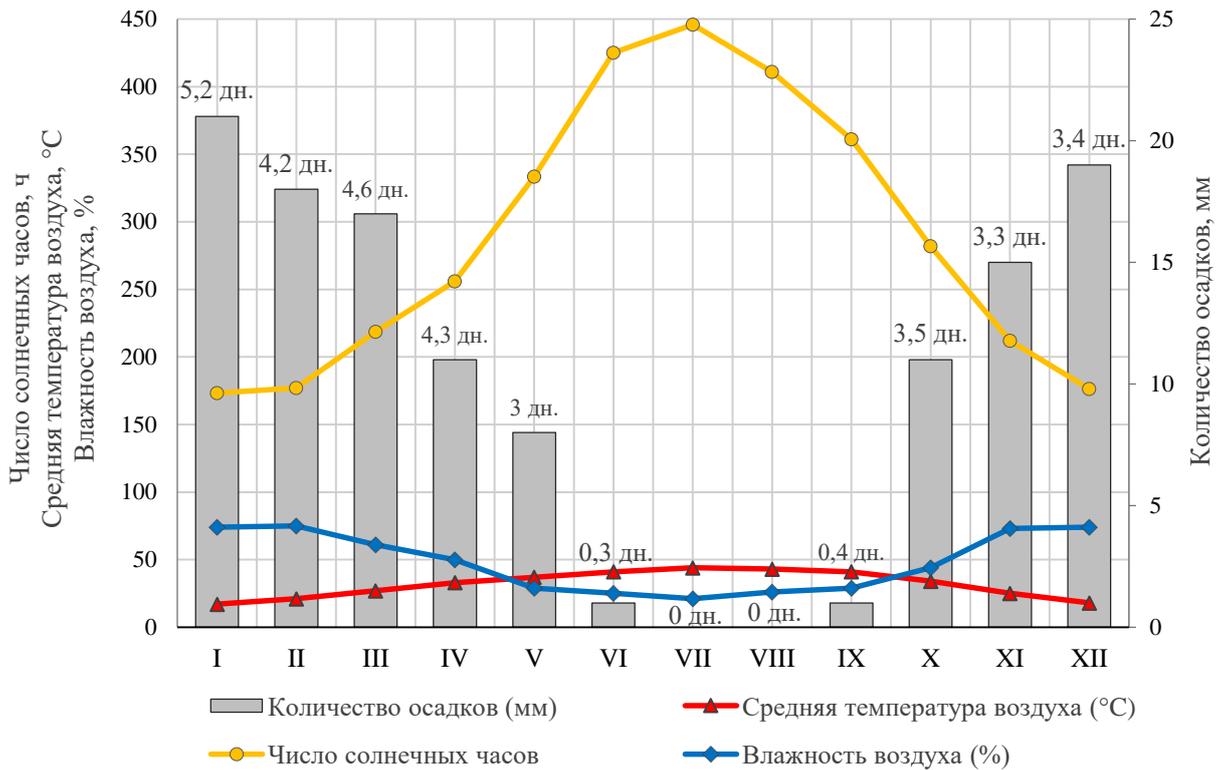


Рисунок 2.1. Динамика изменения климатических факторов в восточных регионах Сирийской Арабской Республики

При прогнозе долговечности теплого асфальтобетона в дорожной конструкции в условиях САР наиболее опасным возможным дефектом покрытия является колейность, которая является неизбежным признаком недостаточной прочности и сдвигоустойчивости верхних конструктивных слоев дорожных одежд, что может быть вызвано сочетанием различных эксплуатационных факторов, важнейшие из которых – высокие транспортные нагрузки и факторы внешней среды. Прогноз появления и развития процесса колеобразования может быть представлен канонической моделью (рисунок 2.2). Входные параметры модели можно представить как: факторы внешней среды X и транспортные нагрузки Y .

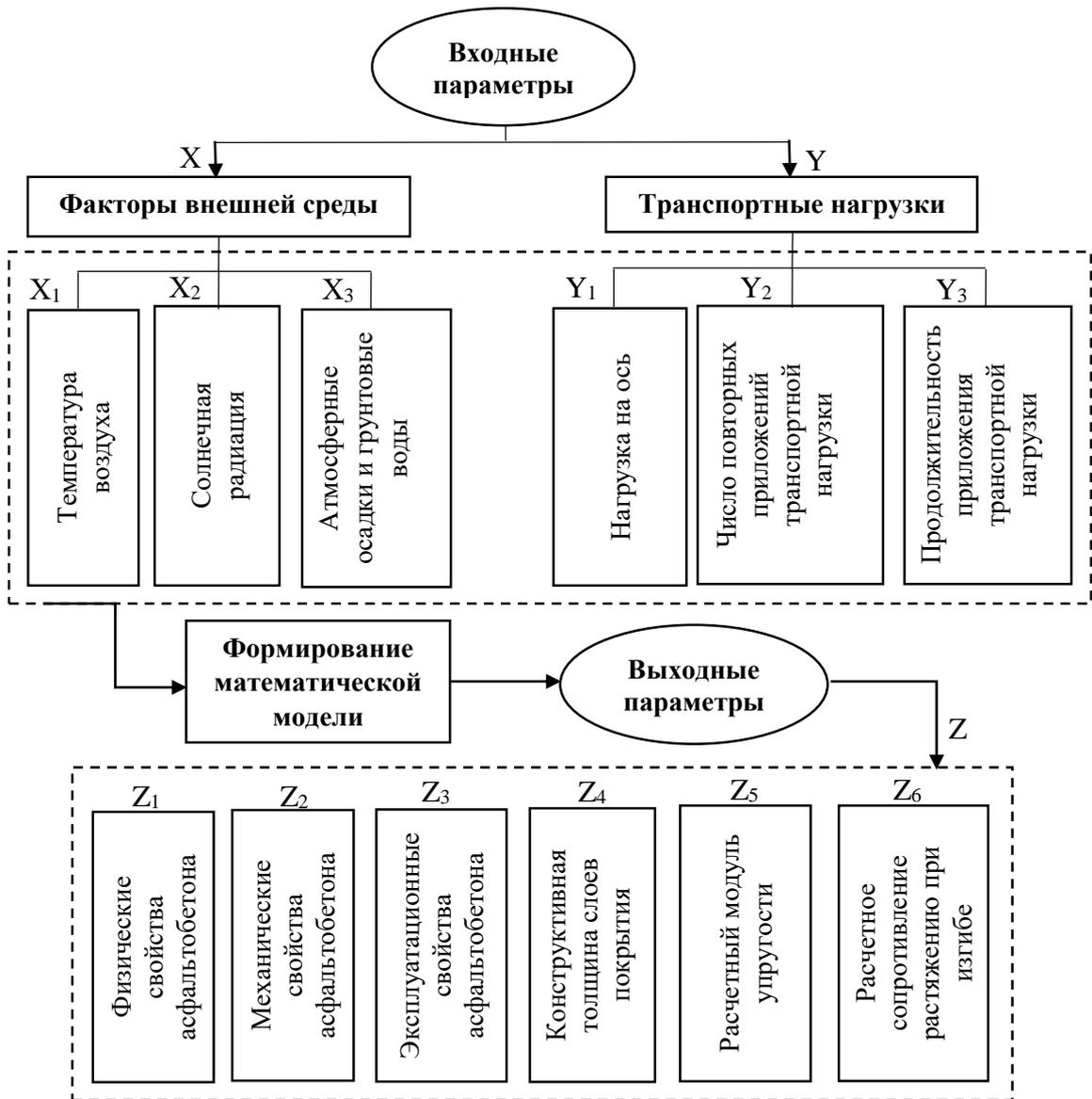


Рисунок 2.2. Обобщенная модель эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях Сирии

Зависимость интенсивности процесса колееобразования на дорожном покрытии из теплого асфальтобетона от факторов внешней среды (X) и транспортных нагрузок (Y) может быть представлена элементами множества:

$$X_i = (X_1, X_2, X_3, X_n), \quad (1)$$

$$Y_i = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_n), \quad (2)$$

В годовом цикле восточных регионов САР: средняя температура воздуха изменяется от + 17 до + 44 °С, количество солнечных часов в месяц составляет от 173 до 446, количество осадков в месяц от 0 до 21 мм, влажность воздуха в

зависимости от месяца от 21 до 75 %. Преобладающими климатическими условиями эксплуатации дорожной конструкции являются: длительный календарный сухой период с температурой воздуха 25 – 44 °С, 200 – 400 солнечных часов в месяц, минимальное количество осадков. В качестве основных параметров транспортных нагрузок необходимы: величина интенсивности движения, состав и характеристики автомобилей в транспортном потоке по конкретной автомобильной дороге.

Таким образом, результат анализа и обработки входных параметров характеризуется набором элементов множества выходных параметров:

$$Z_i = (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_n), \quad (3)$$

$$Z = F(X, Y), \quad (4)$$

В качестве конкретного объекта для расчета дорожной конструкции была принята автомобильная дорога Дерь-Эзор – Пукамаль, расположенная в восточном районе Сирийской Арабской Республики, протяженностью около 130 км (см. рисунок 2.3). На примере этой дороги с учетом природно-климатических условий и преобладающих условий дорожного движения будут обоснованы дорожные конструкции с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона в условиях САР.



Рисунок 2.3. Расположение автомобильной дороги Дерь-Эзор – Пукамаль в восточных районах Сирийской Арабской Республики

2.1.2 Выбор программного обеспечения

Для решения задачи расчета дорожной конструкции с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона в условиях сухого и жаркого климата восточных регионов САП был использован алгоритм и его программная реализация, входящая в комплекс CREDO, программа РАДОН.

При расчете дорожной конструкции необходимо выполнить адаптацию исходных данных в виде природно-климатических особенностей восточных регионов Сирийской Арабской Республики и принятых принципов конструирования дорожных одежд. Программа CREDO РАДОН RU способна выполнить автоматизированный расчет дорожной одежды нежесткого типа с учетом заданных условий по российским и международным нормативным документам [122].

Необходимыми для решения вышеуказанной задачи функциональными возможностями программы CREDO РАДОН RU являются возможность добавления в базу для последующего расчета материалов для любых конструктивных слоев дорожной одежды, а также возможность использования в расчетах данных о составе транспортного потока. Имеющийся в программе механизм редактирования позволяет изменять и дополнять базу информации программы CREDO РАДОН RU.

2.2 Обоснование методов и средств экспериментального исследования по разработке теплого модифицированного асфальтобетона

2.2.1 Применяемые материалы

2.2.1.1 Исходные материалы для приготовления асфальтобетонных смесей

Для получения асфальтобетона, модифицированного и не модифицированного, использовались следующие компоненты: битум нефтяной дорожный вязкий, разжижитель (дизельное топливо), термоэластопласт резиновый РТЭП-М и минеральные материалы асфальтобетонной смеси: щебень фракции 5-

20 мм, песок из отсевов дробления фракции 0-5 мм, и неактивированный минеральный порошок.

Битум нефтяной дорожный вязкий

В качестве исходного органического вяжущего вещества был принят нефтяной битум марки БНД 70/100 производства ООО «РНПК». Физико-химические свойства нефтяного битума приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Показатели свойств исходного битума нефтяного дорожного марки БНД 70/100

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Требования ГОСТ 33133 - 2014	Значение показателя
1	Глубина проникания иглы, 0,1 мм: при температуре 25°C при температуре 0°C	71-100 не менее 21	76 23
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °C	не ниже 47	51
3	Температура хрупкости, °C	не выше -18	-19,5
4	Растяжимость, см: при 25°C при 0°C	не менее 62 не менее 3,7	97 3,8
5	Изменение температуры размягчения после старения, °C	Не более 7	5
6	Индекс пенетрации	От -1,0 до +1,0	+0,1
7	Температура вспышки, °C	не ниже 230	275

Данные, представленные в таблице 2.1, свидетельствуют о том, что значения показателей соответствуют требованиям ГОСТ 33133 -2014 и ГОСТ 22245-90 [123, 124].

Разжижитель (дизельное топливо)

Для получения требуемого дорожного битума марки БНД 200/300, который использовали при приготовлении ТАС, была введена органическая добавка (разжижитель). В качестве разжижителя было принято дизельное топливо сорт С,

вид II (ДТ-5) производства ООО «Лукойл». Физико-химические свойства дизельного топлива приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Физико-химические свойства дизельного топлива производства ООО «Лукойл»

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Требования СТО 00044434- 007-2006	Фактический показатель
1	Цетановое число, не менее	51	51
2	Цетановый индекс, не менее	46	52
3	Плотность при 15 °С, кг/м ³	820-845	823,2
4	Содержание полициклических ароматических углеводородов, % масс., не более	8	4,4
5	Содержание серы, мг/кг, не более	10	9,1
6	Температура вспышки в закрытом тигле °С, не ниже	55	71
7	Содержание воды, мг/кг, не более	200	19
8	Общие загрязнение, мг/кг, не более	24	3
9	Окислительная стабильность: общее количество осадка, г/м ³ , не более	25	20
10	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	2,0-4,5	2,77
11	Фракционный состав: - отгоняется до температуры 250 °С,% об.,не выше	65	38
	- отгоняется до температуры 350 °С,% об.,не менее	85	96
	- 95% (по объему) перегоняется при °С, не выше	360	344
12	Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	-5	-14

Термоэластопласт резиновый РТЭП-М

Для применения полимерно-дисперсного армирования, использовался термоэластопласт резиновый РТЭП-М производства ООО «ПОЛИМЕРТЭК», он соответствовал требованиям стандарта СТО 39952490-001-2020. Его физико-механические свойства указаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Физико-механические свойства РТЭП-М по СТО 39952490-001-2020

Наименование показателя	Значение, норма	Методы испытаний
Внешний вид	Гранулы произвольной формы без посторонних включений; допускается вспенивание	10.2 (СТО 39952490-001-2020)
Цвет	Коричневый, чёрный	10.2 (СТО 39952490-001-2020)
Температура размягчения, °С, не менее	140	ГОСТ 33142
Средний размер гранул по наибольшему измерению, мм	2-6	10.4 (СТО 39952490-001-2020)
Насыпная плотность, г/см ³	0,35-0,70	ГОСТ Р 55419-2013

Термоэластопласт резиновый РТЭП-М соответствует требованиям ГОСТ Р 55419-2013 [125].

Щебень

В качестве крупного заполнителя для получения асфальтобетонной смеси использован гранитный щебень из горных пород, произведенный ОАО «ПавловскНеруд».

В таблице 2.4 приведены физико-механические свойства крупного заполнителя.

Таблица 2.4 - Физико-механические свойства гранитного щебня ОАО «ПавловскНеруд»

№ п/п	Наименование показателя	Фактический показатель	Требования ГОСТ 8267-93 ГОСТ 32703-2014
1	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % по массе	9,8	не более 25
2	Содержание зерен слабых пород, % по массе	0,0	не более 5
3	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	0,69	не более 1
4	Содержание глины в комках, % по массе	0,0	не более 0,25
5	Марка по дробимости	1000	не ниже 1000
6	Марка по истираемости щебня	И1	не ниже И2
7	Марка щебня по морозостойкости	F300	не ниже F50
8	Устойчивость структуры щебня против распадов (потеря массы при распаде), %	1,30	не более 3
9	Насыпная плотность, кг/м ³	1180	не нормируется
10	Плотность истинная, г/см ³	2,70	не нормируется
11	Плотность средняя, г/см ³	2,67	не нормируется

В таблице 2.5 приведен зерновой состав крупного заполнителя по старым требованиям нормативных документов.

Таблица 2.5 - Зерновой состав гранитного щебня фракции 5-20 мм по ГОСТ 8267-93

Наименование остатков	Размер отверстий сит, мм					
	25	20	15	10	5	<
Частные остатки, %	0	4,4	23,7	39,7	31,0	1,2
Полные остатки, %	0	4,4	28,1	67,8	98,8	100
Требование ГОСТ 8267-93, %	До 0,5	До 10	-	-	90-100	-

По зерновому составу и физико-механическим свойствам принятого крупного заполнителя и согласно требованиям ГОСТ 8267-93, ГОСТ 3344-83, ГОСТ 32703-2014 и ГОСТ 9128-2013 [126 - 129], он может использоваться для приготовления мелкозернистого плотного асфальтобетона типа Б марки П.

Для проведения экспериментов в соответствии с требованиями нового ГОСТа был принят гранитный щебень из горных пород, произведенный ОАО «ПавловскНеруд». Зерновой состав щебня фракции 4-16мм представлен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Зерновой состав гранитного щебня фракции 4-16 мм по ГОСТ Р 58401.1 - 2019

Наименование остатков	Размер отверстий сит, мм (квадратные сита)											
	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	<0,063
	Фр. 4-8 мм											
Частные остатки, %	0,00	0,00	4,94	43,94	37,57	9,83	1,58	0,37	0,78	0,02	0,36	0,62
Полные остатки, %	0,00	0,00	4,94	48,88	86,45	96,28	97,86	98,23	99,01	99,03	99,38	100,00
Полные проходы, %	100,00	100,00	95,06	51,12	13,55	3,72	2,15	1,78	1,00	0,98	0,62	0,00
	Фр. 8-11,2 мм											
Частные остатки, %	0,00	15,88	76,88	6,63	0,15	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,09	0,29
Полные остатки, %	0,00	15,88	92,76	99,39	99,54	99,58	99,59	99,60	99,60	99,62	99,71	100,00
Полные проходы, %	100,00	84,12	7,24	0,61	0,46	0,42	0,41	0,40	0,40	0,38	0,29	0,00
	Фр. 11,2-16 мм											
Частные остатки, %	3,11	90,91	5,56	0,21	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,11
Полные остатки, %	3,11	94,02	99,58	99,80	99,83	99,84	99,84	99,85	99,87	99,88	99,89	100,00
Полные проходы, %	96,89	5,98	0,42	0,20	0,17	0,16	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,00

По зерновому составу и физико-механическим свойствам принятого крупного заполнителя и согласно требованиям ГОСТ 32703-2014 ГОСТ Р 58401.1-2019 и ГОСТ Р 58406.2-2020 [127, 130, 131], он может использоваться для приготовления асфальтобетонной смеси типа А16В_н.

Песок из отсеков дробления

В качестве мелкого заполнителя был использован песок из отсеков дробления гранита производства ОАО «ПавловскНеруд». В таблице 2.7 представлены физические свойства мелкого заполнителя.

Таблица 2.7 - Физические свойства песка из отсеков дробления

№ п/п	Наименование показателя	Фактический показатель	Требования ГОСТ 31424-2010 ГОСТ 32730-2014
1	Модуль крупности, группа	3,14 повышенной крупности	не нормируется
2	Класс	II	не нормируется
3	Полный остаток на сите 0,63 мм, % по массе	67	от 65 до 75
4	Содержание зерен крупностью свыше 10 мм, % по массе	0	не более 5
5	Содержание зерен крупностью свыше 5 мм, % по массе	5,9	не более 15
6	Содержание зерен крупностью менее 0,16 мм, % по массе	16,45	не нормируется
7	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	0,8	не более 2,0
8	Содержание глины в комках по массе, % по массе	0,0	до 2
9	Содержание глинистых частиц (метод набухания), % по массе	0,3	не более 0,5
10	Плотность истинная, г/см ³	2,69	не нормируется
11	Плотность насыпная, кг/м ³	1360	не нормируется

В таблице 2.8 приведен зерновой состав мелкого заполнителя по старым требованиям нормативных документов.

Таблица 2.8 - Зерновой состав песка из отсевов дробления фракции 0-5 мм по ГОСТ 9128

Наименование остатков	Размер отверстий сит, мм								
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	менее
Частные остатки, %	0	5,9	31,5	12,2	17,4	9,20	7,35	7,8	8,65
Полные остатки, %	0	5,9	37,4	49,6	67	76,2	83,6	91,4	100

Принятый мелкий заполнитель по зерновому составу и физическим свойствам соответствует требованиям ГОСТ 31424-2010 и ГОСТ 9128-2013 [129, 132] и может использоваться для получения мелкозернистого плотного асфальтобетона типа Б марки П.

Для проведения экспериментов в соответствии с требованиями нового ГОСТа был принят гранитный песок из отсевов дробления гранита производства ОАО «ПавловскНеруд». Зерновой состав песка из отсевов дробления фракции 0-4мм представлен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 - Зерновой состав песка из отсевов дробления фракции 0-4 мм по ГОСТ Р 58406

Наименование остатков	Размер отверстий сит, мм (квадратные сита)									
	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	менее
Частные остатки, %	0,38	7,02	4,47	30,03	19,06	11,50	8,47	5,87	5,15	8,05
Полные остатки, %	0,38	7,40	11,87	41,90	60,96	72,46	80,92	86,80	91,95	100,0

По зерновому составу и физико-механическим свойствам принятого мелкого заполнителя и согласно требованиям ГОСТ 32730-2014 и ГОСТ Р 58406.2-2020 [131, 133], он может использоваться для приготовления асфальтобетонной смеси типа А16В_Н.

Минеральный порошок

Для исследований использовался неактивированный минеральный порошок производства ОАО «Кемеровоспецстрой» марки МП-1.

В таблице 2.10 представлены физические свойства минерального порошка.

Таблица 2.10 - Физические свойства минерального порошка

№ п/п	Наименование показателя	Фактический показатель	Требования ГОСТ Р 52129-2003
1	Истинная плотность, г/см ³	2,67	-
2	Средняя плотность, г/см ³	1,95	-
3	Пористость, % по объему	26	не более 35
4	Набухание образцов из смеси порошка с битумом, % по объему	0,5	не более 2,5
5	Влажность, % по массе	0,2	не более 1,0

В таблице 2.11 приведен зерновой состав минерального порошка для проведения экспериментов в соответствии с требованиями старых нормативных документов.

Таблица 2.11 - Зерновой состав минерального порошка по ГОСТ 9128

Наименование остатков	Размер отверстий сит, мм				
	1,25	0,315	0,16	0,071	менее
Частные остатки, %	0	1,62	12,83	14,85	70,70
Полные остатки, %	0	1,62	14,45	29,30	100
Полные проходы, %	100	98,38	85,55	70,70	0
Требование ГОСТ Р 52129-2003, %	не менее 100	не менее 90	-	70-80	-

Принятый минеральный порошок по зерновому составу и физическим свойствам соответствует требованиям ГОСТ Р 52129-2003 [134] и может использоваться для получения мелкозернистого плотного асфальтобетона типа Б марки II.

Для выполнения экспериментов в соответствии с требованиями нового ГОСТа был принят минерального порошка производства ОАО

«Кемеровоспецстрой» марки МП-1. Зерновой состав минерального порошка представлен в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Зерновой состав минерального порошка по ГОСТ Р 58406

Наименование остатков	Размер отверстий сит, мм (квадратные сита)					
	1	0,5	0,25	0,125	0,063	менее
Частные остатки, %	0,00	0,20	3,36	6,39	13,52	76,52
Полные остатки, %	0,00	0,20	3,57	9,96	23,48	100,00
Полные проходы, %	100,00	99,80	96,43	90,04	76,52	0,00
Требование ГОСТ 32761-2014, %	не менее 100	-	-	85-100	70-100	-

По зерновому составу и физико-механическим свойствам принятого мелкого заполнителя и согласно требованиям ГОСТ 32761-2014 и ГОСТ Р 58406.2-2020 [131, 135], он может использоваться для приготовления асфальтобетонной смеси типа А16В_н.

2.2.1.2 Компонентные и гранулометрические составы асфальтобетонных смесей экспериментального исследования

Для выполнения экспериментального исследования приготавливались следующие составы.

Асфальтобетонная смесь тип Б марки II, использовался битум БНД 70/100 производства ООО «РНПК», разжижитель (дизельное топливо) чтобы получить дорожный битум БНД 200/300, щебень гранитный фракции 5-20 мм, отсеб гранитный фракции 0-5 мм ОАО «ПавловскНеруд» и неактивированный минеральный порошок ОАО «Кемеровоспецстрой».

Зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси тип Б марки II приведен в таблице 2.13 и график зернового состава на рисунке 2.4, соответственно Требованиям ГОСТ 9123.

Асфальтобетонная смесь А16В_Н (номинально максимальный размер минерального заполнителя 16,0 мм, для верхнего слоя покрытия и для дорог с нормальными условиями движения), использовался битум БНД 70/100 производства ООО «РНПК», разжижитель (дизельное топливо), чтобы получить дорожный битум БНД 200/300, щебень гранитный фракции 4-16мм, песок из отсева дробления гранита фракции 0-4 мм ОАО «ПавловскНеруд» и неактивированный минеральный порошок ОАО «Кемеровоспецстрой».

Зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси А16В_Н приведен в таблице 2.14, соответственно Требованиям ГОСТ Р 58406.2.

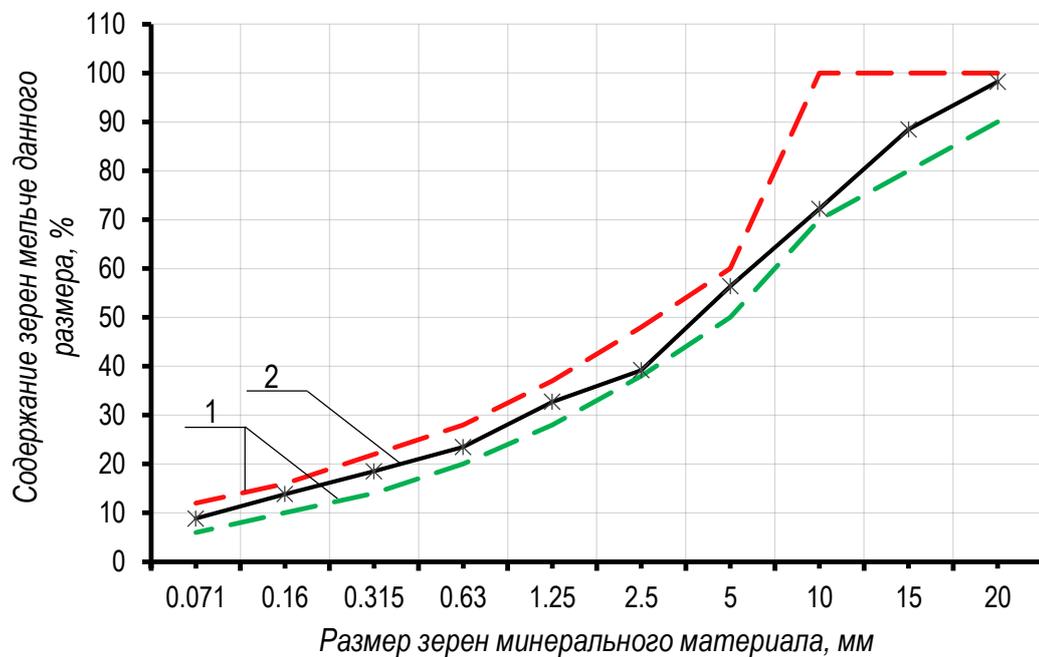


Рисунок 2.4. График зернового состава минеральной части:

1 – кривые просеивания по ГОСТ 31015-2002, 2 – кривая просеивания
подобранного состава

Таблица 2.13 - Зерновой состав смеси тип Б марки II по ГОСТ 9123

№ п/п	Наименование материалов	Содержание, % (битум сверх 100%)	Зерновой состав (прошло через сито с отверстием, мм), % от массы										
			20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	
1	Щебень гранитный фр.5-20 мм ОАО «ПавловскНеруд»	41	39,2	29,5	13,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Песок из отсевов дробления фр.0-5 мм ОАО «ПавловскНеруд»	53	53	53	53,0	49, 9	33, 2	26,7	17,5	12,6	8,7	4,6	
3	Минеральный порошок МП-1 ОАО «КемеровоСпецстрой»	6	6	6	6	6	6	6	6	5,9028	5,133	4,242	
Итого:		100	98,2	88,5	72,2	56, 4	39, 2	32,7	23,5	18,5	13,9	8,8	
Требования ГОСТ 9128- 2009 непрерывный зерновой состав		min	90	80	70	50	38	28	20	14	10	6	
		max	100	100	100	60	48	37	28	22	16	12	

Таблица 2.14 - Зерновой состав смеси тип А16В_Н по ГОСТ Р 58406

№ п/п	Наименование материалов	Содерж., % (битум сверх 100%)	Зерновой состав (прошло через сито с отверстием,мм),% от массы											
			16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
1	Щебень гранитный фр. 11,2-16 ОАО «ПавловскНеруд»	18	17,44	1,08	0,08	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
2	Щебень гранитный фр. 8- 11,2 ОАО «ПавловскНеруд»	24	24,00	20,19	1,74	0,15	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,07
3	Щебень гранитный фр. 4-8 ОАО «ПавловскНеруд»	15	15,00	15,00	14,26	7,67	2,03	0,56	0,32	0,27	0,15	0,15	0,09	
4	Песок из отсеков дробления фр.0-4мм ОАО «ПавловскНеруд»	38	38,00	38,00	37,86	35,19	33,49	22,08	14,84	10,47	7,25	5,02	3,06	
5	Минеральный порошок ОАО «Кемеровоспецстрой»	5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,99	4,82	4,50	3,83	
Линия максимальной плотности			85,95	73,20	62,92	53,59	46,06	33,72	24,68	18,07	13,23	9,68	7,11	
Итого			99,44	79,27	58,93	48,04	40,66	27,77	20,28	15,84	12,34	9,78	7,06	
Требования ГОСТ Р 58406.2- 2020			min	90	70	-	-	37	25	-	-	-	7	5
			max	100	85	-	-	58	40	-	-	-	20	10

2.2.2 Методика и средства лабораторных и натурных исследований

Для решения поставленных задач применялись современные методы исследования структурно-механических и физических свойств теплых модифицированных и немодифицированных асфальтобетонных смесей и оценки эффективности применения теплого модифицированного асфальтобетона (ТМА) в климатических условиях в восточных и западных регионах Сирии и долговечности дорожных покрытий из ТМА в условиях интенсивного дорожного движения. Испытания проводились в аккредитованной лаборатории ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» с использованием аттестованного лабораторного оборудования, поверенных и калиброванных средств измерений.

2.2.2.1 Методика оценки структурно-механических и физических свойств модифицированного тёплого асфальтобетона

Для решения задачи по оценке эффективности метода полимерно-дисперсного армирования для приготовления модифицированных ТАС при строительстве автомобильных дорог в условиях САР разработана технологическая основа для их производства. Подбор состава асфальтобетонной смеси осуществлялся в соответствии с ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия» [129].

Для получения теплой асфальтобетонной смеси применена технология производства ТАС с малой вязкостью битума. В качестве органического вяжущего использовался нефтяной битум марки БНД 70/100 производителя ООО «РНПК», данный битум разжижали, используя дизельное топливо, чтобы получить дорожный битум БНД 200/300, который использовался для приготовления ТАС, этот процесс контролировался испытанием на глубину проникания иглы [136].

Оптимальный контрольный состав теплой асфальтобетонной смеси и оптимальное содержание битума были определены путем разработки традиционной горячей асфальтобетонной смеси и применения тех же утвержденных принципов проектирования, а затем применения результатов для производства разработанной теплой асфальтобетонной смеси [22, 30, 55-57]. Оптимальное содержание битума (5 % над минеральной фракцией) определяли по физико-механическим свойствам.

Исследования физико-механических свойств асфальтобетонов проводились согласно ГОСТ 12801-98 [137] «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства».

Подготовка образцов испытаний ТАС, порядок проведения испытаний и обработка результатов проводились так же, как и для горячих асфальтобетонных смесей, разница заключалась только в температурах смешивания и формовки образцов, принятой в пределах 120-125 °С.

Подготовка образцов ТАС выполнялась путем нагревания минеральных материалов (щебень и песок из отсевов дробления) заданной массы до температуры 130 °С. Затем добавлялся минеральный порошок в холодном состоянии и смесь хорошо перемешивалась, после чего вводился дорожный битум БНД 200/300 при температуре 105-115 °С и все компоненты перемешивались до тех пор, пока они хорошо не покроются битумом.

Для формовки образцов уплотнения температура асфальтобетонной смеси находилась в интервале 105-110 °С, теплая смесь в необходимом количестве была помещена в предварительно нагретые формы (при изготовлении образцов формы и вкладыши нагревали до 90-100°С, а затем в формах смесь уплотнялась под нагрузкой в соответствии с ГОСТ 12801-98 [137]).

Та же предыдущая схема работ и порядок проведения испытаний применялись для исследования свойств модифицированного теплого асфальтобетона с использованием модификатора РТЭП-М (его физические и механические свойства приведены в таблице 2.3), который вводился в холодном состоянии при добавлении минерального порошка с тщательным перемешиванием

компонентов смеси в процентном соотношении добавки к минеральной части: 0,5; 1,0; 1,5 и 1,75 и определения соответствующих структурно-механических и физических свойств теплого асфальтобетона. Для определения значений показателей в каждом случае было принято среднее арифметическое значение трех тестовых образцов.

2.2.2.2 Методика обоснования и оценки долговечности теплого модифицированного асфальтобетона в климатических условиях Сирии

Для исследования долговечности модифицированного теплого асфальтобетона в условиях различных регионов Сирии были приготовлены два комплекта образцов, всего около 48 образцов (модифицированный с модификатором РТЭП-М и немодифицированный теплый асфальтобетон) и подвергнуты воздействию условий, имитирующих климатические условия регионов Сирийской Арабской Республики (восточные и западные регионы Сирии) через проектирование лабораторных и натуральных климатических моделей. А далее изучались характеристики двух групп до и после климатического старения.

Свойства теплого модифицированного асфальтобетона с использованием модификатора РТЭП-М могут подходить для условий одного региона Сирийской Арабской Республики и не подходить для другого, так как летние температуры и зимние температуры существенно отличаются на востоке и западе страны, как по величине, так и по продолжительности. На рисунке 2.5 представлена разработанная на основе литературных источников схема районирования САР по продолжительности и величине летних и зимних температур.

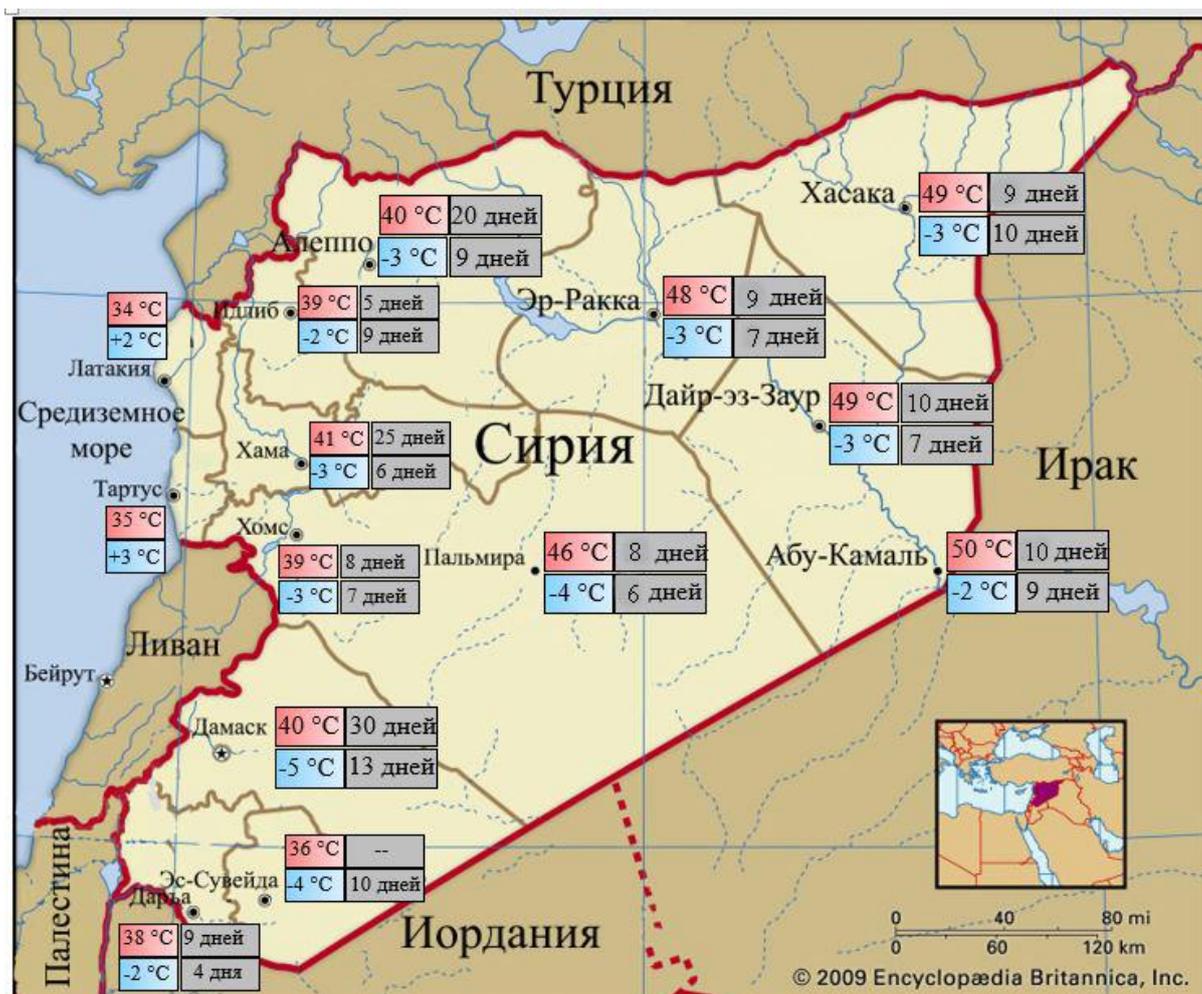


Рисунок 2.5. Схема районирования Сирии по продолжительности и величине летних и зимних температур

Разработана методика оценки долговечности теплового модифицированного асфальтобетона с использованием климатической модели, имитирующей условия восточных и западных регионов Сирии.

Известно, что асфальтобетоны на основе маловязких органических вяжущих являются недостаточно устойчивыми для эксплуатации в жарком климате, в том числе по отношению к климатическому старению. Поэтому, моделирование в лабораторных условиях климатического старения асфальтобетона или с помощью натурной экспозиции образцов сравниваемых составов асфальтобетонных смесей в разных климатических зонах позволяет получить достоверную оценку долговечности материала в дорожном покрытии. В качестве наиболее суровых по температурному воздействию регионов САР были приняты восточные провинции

страны. Для исследования долговечности модифицированного асфальтобетона в сухих и жарких климатических условиях восточных регионов САР была разработана климатическая модель, основанная на статистике температур за предыдущие годы [117-121]. В модели представлены следующие этапы климатического старения:

- 1 этап - теплый весенний и начальный летний период - 70 дней при температуре 45 °С;
- 2 этап - наиболее жаркий летний период - 10 дней при температуре 60 °С;
- 3 этап - теплый период завершения лета и теплая осень - 60 дней при температуре 50 °С;
- 4 этап - короткий наиболее холодный период - 10 дней при температуре (-3 °С).

Итого 150 дней климатического старения в лабораторных условиях, принятых за один условный год эксплуатации теплого асфальтобетона в дорожном покрытии.

Для условий мягкого, теплого и влажного климата западных регионов Сирии обоснована натурная экспозиция образцов асфальтобетона в период года с положительными температурами в климатических условиях Воронежской области Российской Федерации.

Повысить долговечность теплого асфальтобетона можно путем применения метода полимерно-дисперсное армирование за счет улучшения его структурно-механических свойств, особенно в условиях эксплуатации дорожных покрытий во влажных и теплых районах Сирийской Арабской Республики. В целях оценки данного предположения были осуществлены эксперименты на образцах с модификатором и без него для оценки работоспособности теплого асфальтобетона во влажных условиях в САР.

Были приготовлены два комплекта образцов теплого асфальтобетона (модифицированный и немодифицированный), и образцы были размещены так, чтобы они подвергались непосредственному воздействию солнечной радиации и климатических изменений в течение всего периода эксперимента за один условный

год эксплуатации теплого асфальтобетона в дорожном покрытии (с середины марта до середины октября). После этого образцы были переданы в лабораторию, где исследовалась их долговечность по изменениям, произошедшим в их свойствах до и после эксперимента. Эксперименты, описанные в разделах 2.2.2.1 и 2.2.2.2, осуществлялись с использованием лабораторного оборудования и средств измерений (рисунки 2.6 - 2.9).



Рисунок 2.6 – Пресс для формования образцов асфальтобетона



Рисунок 2.7 – Пресс для испытаний образцов асфальтобетона



Рисунок 2.8 – Вакуумный прибор для определения плотности образцов асфальтобетона



Рисунок 2.9 – Термостат для термостатирования образцов асфальтобетона

2.2.2.3 Оценка долговечности дорожных покрытий из ТМА в условиях интенсивного дорожного движения

Для исследования долговечности покрытий из теплого модифицированного асфальтобетона в условиях интенсивного дорожного движения путем оценки его устойчивости к колееобразованию были приняты требования по новому стандарту ГОСТ Р 58406.2-2020 [131], для проведения испытания стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса с использованием современных лабораторных приборов и оборудования.

Для подготовки образцов-плит была принята асфальтобетонная смесь А16В_н. Минеральная часть указанной смеси была представлена минеральными материалами, производства ОАО «ПавловскНеруд»: гранитным щебнем М 1000 фракций 11,2-16 мм, 8-11,2 мм, 4-8 мм; песком из отсева дробления гранита 0-4 мм. Использовался известняковый, неактивированный минеральный порошок МП -1. Зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси представлен в таблице 2.14.

Для испытания были приготовлены три плиты: горячий немодифицированный асфальтобетон (контрольный состав), горячий модифицированный асфальтобетон (0,3 % РТЭП-М по массе минеральной части) и теплый модифицированный асфальтобетон (0,6 % РТЭП-М по массе минеральной части). В случае теплого модифицированного асфальтобетона температуры приготовления и уплотнения, а также добавления модификатора, как указано в параграфе 2.2.2.1.

Методы проведения испытания и показатели асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов определяются в соответствии с таблицей 2.15.

Таблица 2.15 - Методы испытаний асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов для определения стойкости к колееобразованию

№ п/п	Наименование показателя	Метод испытания	Ссылка
1	Изготовление асфальтобетонных образцов	ГОСТ Р 58406.9	[138]
2	Зерновой состав асфальтобетонной смеси	ГОСТ 33029 – 2014	[139]
3	Максимальная плотность	ГОСТ Р 58401.16	[140]
4	Объемная плотность	ГОСТ Р 58401.10	[141]
5	Содержание воздушных пустот	ГОСТ Р 58401.8	[142]
6	Средняя глубина колеи	ГОСТ Р 58406.3	[143]
7	Угол наклона кривой колееобразования		

После подбора состава асфальтобетонных смесей и определения всех необходимых показателей по нормативным требованиям подготавливают необходимые образцы (далее – плиты) для испытаний на устойчивость к образованию пластической колеи, осуществляемой на современном немецком лабораторном оборудовании InfraTest, показанном на рисунке 2.10.

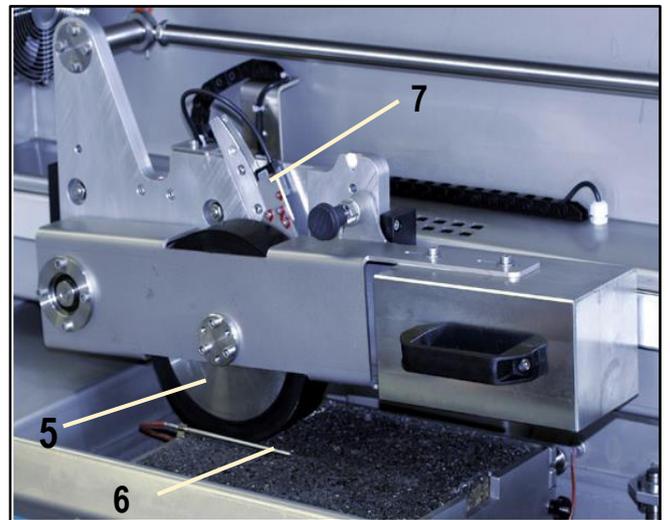
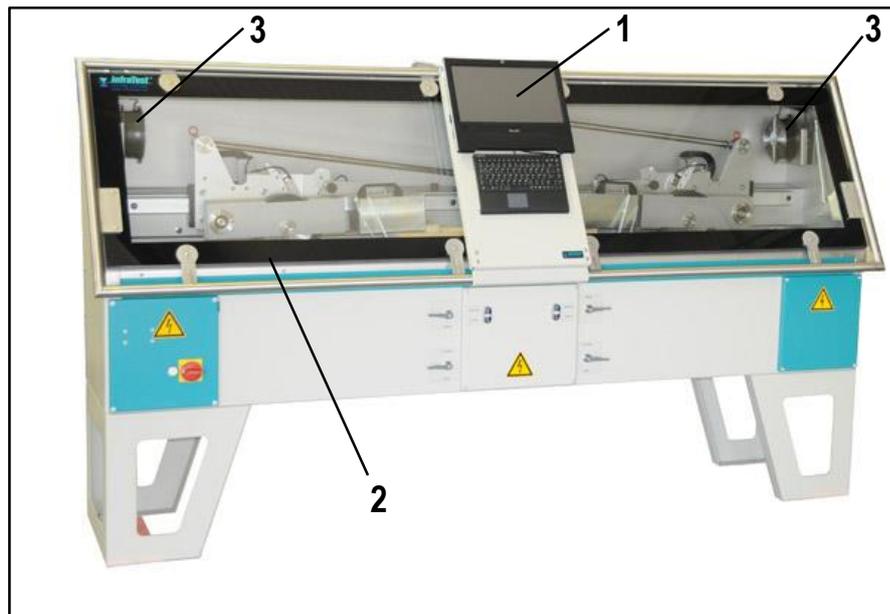


Рисунок 2.10. Установка для проведения испытаний на колеобразование
 1 – встроенный ПК, 2 – прозрачная стеклянная крышка, 3 – воздуходувка для термостатирования, 4 – образец (плита), 5 – испытательное колесо, 6 – термометр, 7 – датчик для нагрузки

Это оборудование обеспечивает возможность прогнозирования стойкости асфальтобетона к образованию колеи в результате от взаимодействия факторов окружающей среды и дорожного движения путем моделирования условий, которым подвергаются дорожного покрытия, и воздействия проезжающих транспортных средств, а результирующая глубина колеи рассчитывается для сравнения с допустимыми пределами в соответствии с нормативными требованиями.

Результаты всех этапов и задач исследования по указанным выше методам и методикам приведены в главах 3 и 4.

2.3 Выводы по второй главе

1. Программа CREDO РАДОН RU способна выполнять автоматизированный расчет дорожной одежды нежесткого типа с учетом условий, установленных в соответствии с российскими и международными нормативными документами, и поэтому может применяться для решения задачи расчета дорожной конструкции с покрытием из ТМА в условиях сухого и жаркого климата восточных районов Сирии.

2. Представленные применяемые материалы соответствуют стандартным требованиям старого и нового ГОСТов и могут быть использованы для получения теплой мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси типа Б марки II, а также асфальтобетонной смеси типа А16В_н.

3. Для разработки и обоснования применения тёплого модифицированного асфальтобетона для устройства и ремонта дорожных покрытий в условиях Сирии использовались современное оборудование и методики оценки устойчивости и долговечности ТМА в различных эксплуатационных условиях САР.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОКРЫТИЕМ ИЗ ТЕПЛОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТМА С МОДИФИКАТОРОМ РТЭП-М ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СИРИИ

3.1 Расчет дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях восточных регионов Сирии в программе РАДОН

3.1.1 Формирование базы данных для расчета дорожных конструкций в программе РАДОН с учетом условий Сирии

Для решения задачи расчета дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона был использован алгоритм и его программная реализация, входящая в комплекс CREDO РАДОН RU.

В качестве конкретного объекта для расчета дорожной конструкции была принята автомобильная дорога Деръ-Эзор – Пукамаль (см. рисунок 2.3). По результатам теоретических исследований, изложенных в предыдущих разделах, а также на основе данных проектов строительства дорог в САР, была сформирована база данных по дорожно-строительным материалам и грунтам, климатическим условиям восточных регионов Сирийской Арабской Республики [34 - 36, 39, 40].

В программе РАДОН были проведены расчеты дорожных конструкций с покрытием из модифицированного и немодифицированного теплого асфальтобетона. Общие данные для расчета приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Общие данные для расчета

Методика расчета	ПНСТ 542-2021 [144]
Наименование дороги, региона	Автомобильная дорога Дерь-Эзор – Пукамаль. Восточный регион Сирийской Арабской Республики.
Особенность расчета	Перегон
Название варианта расчета	Модифицированный и не Модифицированный теплый асфальтобетон
Дорожно-климатическая зона	5
Схема увлажнения рабочего слоя	1
Регион	Южный
Рельеф района	Равнинный
Количество расчетных дней в году, дней	355
Номер изолинии границы термического сопротивления дорожной одежды	I
Глубина промерзания грунта, см	20 (по данным измерений)
Среднегодовая температура, градусы	30,0
Общие данные о дороге	
Категория дороги	III
Количество полос движения	2
Номер расчетной полосы	1
Тип конструкции дорожной одежды	Капитальный
Срок службы покрытия, лет	15
Межремонтный срок покрытия, лет	7
Коэффициент надежности	0.92
Профиль	
Поперечный профиль дороги	Двускатный
Ширина полосы движения, м	3.50
Ширина обочины, м	2.50
Ширина укрепленной части обочины, м	0.50
Заложение откоса, 1:m	1 : 4
Вогнутость продольного профиля	Не учитывается
Высота насыпи, м	1.50
Грунт	
Грунт рабочего слоя	Супесь легкая крупная
Коэффициент уплотнения	0.98
Расчетная влажность грунта, доли ед.	Вычислена по методике: 0.596

Частичная замена грунта	Не предусмотрена
Источник увлажнения	Отсутствует
Конструктивные мероприятия, снижающие влажность и/или влияющие на расчет дренарующего слоя	Не предусмотрены

Определена интенсивность движения, а также состав и характеристики автомобилей в транспортном потоке по автомобильной дороге Дерь-Эзор – Пукамаль. Данные об интенсивности движения по автомобильной дороге Дерь-Эзор – Пукамаль приведены в таблице 3.2, о составе и характеристиках автомобилей в транспортном потоке в таблице 3.3.

Таблица 3.2 - Данные об интенсивности движения

Состав движения	Известен
Коэффициент роста интенсивности, доли ед.	1.030
Состав потока задан	В автомобилях
Рост интенсивности	Общий для потока
Интенсивность движения на первый год службы, ед./сут.	3042
Интенсивность движения на расчетный год службы, ед./сут.	4599
Расчетное суточное число приложений на полосу приведенной нагрузки на последний год службы, ед./сут.	538.26
Суммарное расчетное число приложений на полосу за весь срок службы, ед.	2335479
Требуемый модуль упругости, МПа	326

Таблица 3.3 - Состав и характеристики автомобилей в транспортном потоке

Марка автомобиля	Кол-во, авт.	Коэф. груз.	Коэф. пробега	Рост инт-ти, доли ед.	Коэф. привед.
Легковые автомобили, небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	2720	1.0	1.0	1.030	0.002
Двухосные грузовые автомобили	145	1.0	1.0	1.030	1.510
Трехосные грузовые автомобили	94	1.0	1.0	1.030	2.330
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	52	1.0	1.0	1.030	3.250
Автобусы	31	1.0	1.0	1.030	1.160

Расчетная нагрузка, принятая при расчете дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона, приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Расчетная нагрузка

Нагрузка определяется	по ПНСТ 542-2021 [144]
Расчетная нагрузка	Задана пользователем
Вид расчетной нагрузки	Динамическая
Тип колеса	Двухбаллонное
Нормативная статическая нагрузка на ось, Q _{расч.ось} , кН	113.00
Давление в шинах p, МПа	0.66
Диаметр круга определяют	По формуле ПНСТ 542-2021 [144]
Диаметр штампа D, см	37.64

Характеристики слоев асфальтобетонного покрытия сравниваемых вариантов дорожных одежд с покрытием из модифицированного и немодифицированного теплого асфальтобетона приведены в таблице 3.5, слоев дорожного основания в таблице 3.6.

Таблица 3.5 – Характеристики конструктивных слоев из асфальтобетона

Номер слоя в схемах	Наименование материала	Толщина слоя, см	Расчетный модуль упругости, МПа			Расчетное сопротивление растяжению при изгибе, МПа
			Упругий прогиб, E	Сдвиг, E _{сдв}	Изгиб, E _{раст}	
Дорожная конструкция с покрытием из модифицированного теплого асфальтобетона						
1	Асфальтобетон, модифицированный РТЭП-М плотный теплый на битуме БНД марки 200/300, тип Б, марка II	5.0	2900	460	3800	9.80
2	Асфальтобетон, модифицированный РТЭП-М пористый теплый на битуме БНД марки 200/300, крупнозернистый, марка II	7.0	2000	432	2400	8.00
Дорожная конструкция с покрытием из немодифицированного теплого асфальтобетона						
7	Асфальтобетон плотный теплый на битуме БНД марки 200/300, тип Б, марка II	8.0	1200	360	2000	9.00
8	Асфальтобетон пористый теплый на битуме БНД марки 200/300, крупнозернистый, марка II	9.0	950	396	1400	7.10

Таблица 3.6 - Характеристики слоев оснований дорожной одежды

Номер слоя в схемах	Материал слоя	Толщина слоя, см	Расчетный модуль упругости, МПа
3	Щебень легкоуплотняемый фракции 31,5-63 мм с заклинкой фракционным мелким щебнем	20.0	450
4	Щебеночная смесь непрерывной гранулометрии при максимальном размере зерен С 5 - 40 мм	37.0	260
5	Песок гравелистый с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	20.0	130
6	Супесь легкая крупная	-	65

3.1.2 Результаты расчета дорожных конструкций с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях Сирии

Результаты расчета дорожных конструкций с покрытием сравниваемых вариантов применения модифицированного и немодифицированного теплого асфальтобетона приведены на рисунках 3.1 и 3.2. В полном объеме расчеты приведены в приложениях А и Б настоящей диссертационной работы.

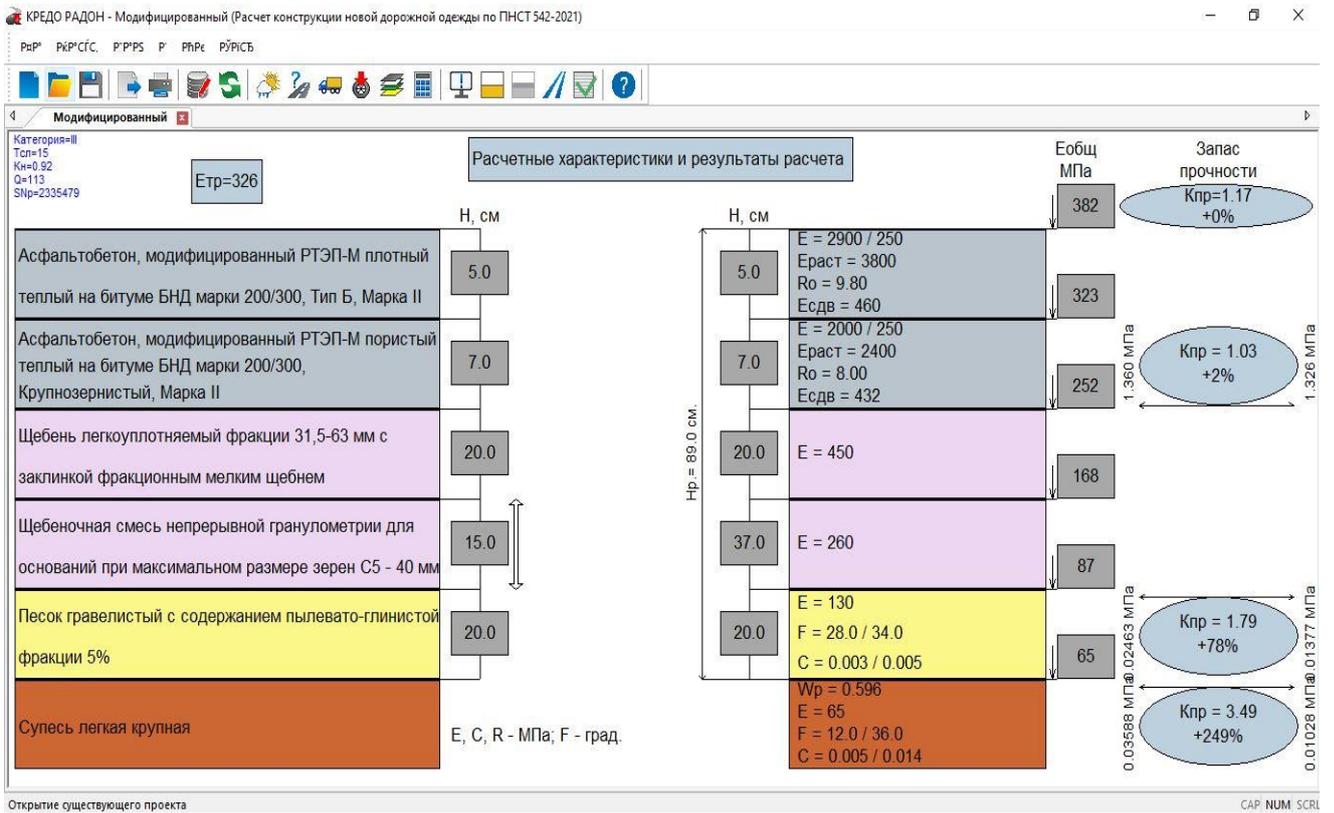


Рисунок 3.1. Результаты расчета дорожных конструкций с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона

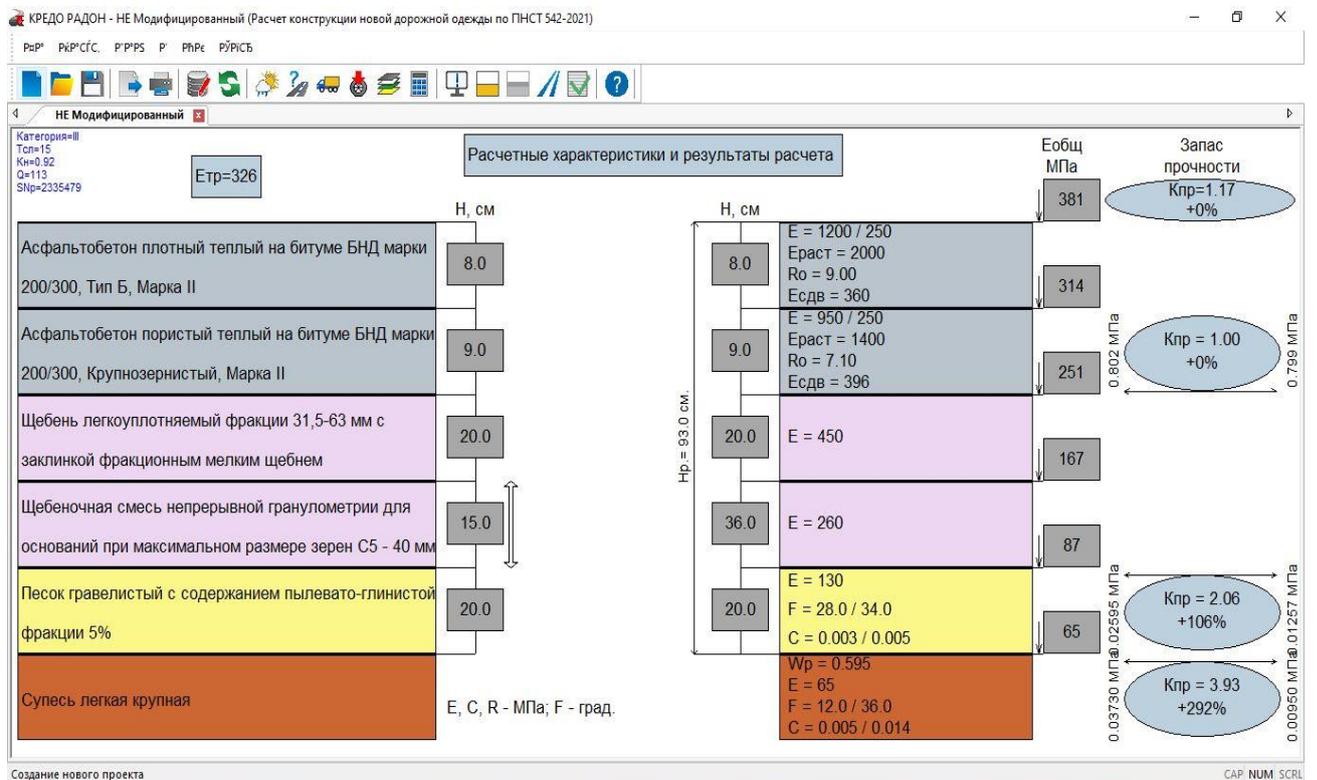


Рисунок 3.2. Результаты расчета дорожных конструкций с покрытием из теплого немодифицированного асфальтобетона

Как показали расчеты, конструкция с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона с общей толщиной 12 см (с верхним слоем из теплого асфальтобетона, модифицированного РТЭП-М, плотного на битуме БНД марки 200/300, Тип Б, Марка II - 5 см; нижним слоем из теплого асфальтобетона, модифицированного РТЭП-М, пористого, на битуме БНД марки 200/300, крупнозернистого, Марка II – 7 см) является существенно более эффективной. Использование немодифицированного теплого асфальтобетона не соответствует применяемым стандартам проектирования, т.к. конструкция с двухслойным покрытием из теплого асфальтобетона должны быть толщиной не менее 17 см, что бы удовлетворять параметрам транспортной нагрузки для дорожной одежды автомобильной дороги Дерь-Эзор – Пукамаль. Проведенные расчеты доказали целесообразность применения теплого модифицированного асфальтобетона при устройстве дорожных покрытий автомобильных дорог в восточных регионах Сирийской Арабской Республики, которые по климатическим условиям являются наиболее опасными для использования недостаточно сдвигоустойчивых и прочных теплых асфальтобетонных смесей.

Конструктивная и расчетная схемы дорожной конструкции с покрытием из теплого модифицированного и немодифицированного асфальтобетона приведены на рисунках 3.3 и 3.4.

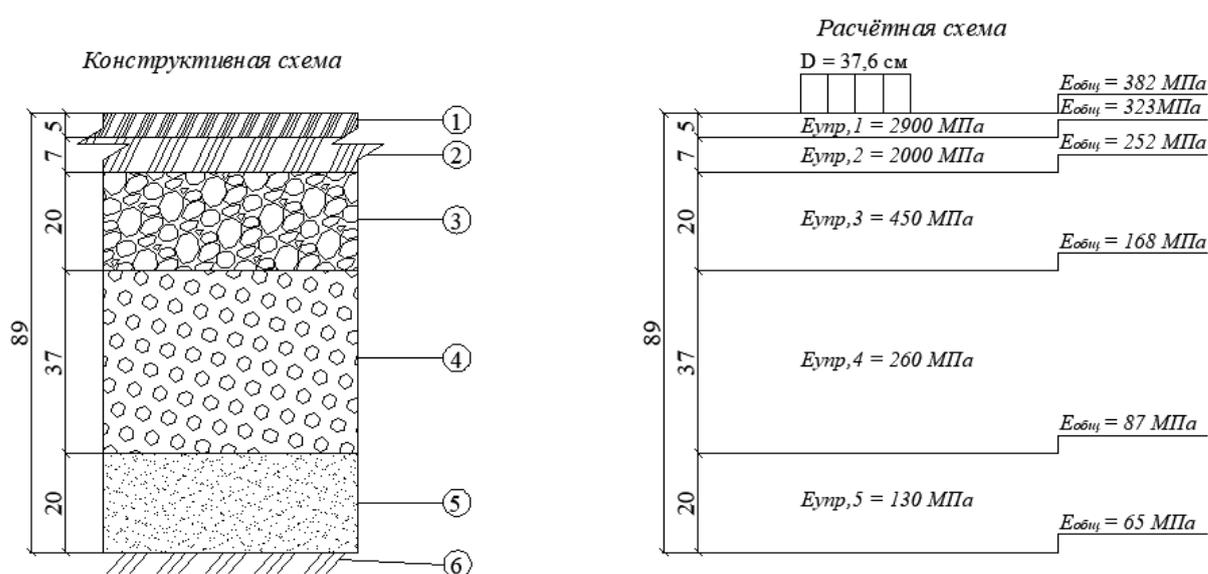


Рисунок 3.3. Конструктивная и расчетная схемы дорожной конструкции с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона

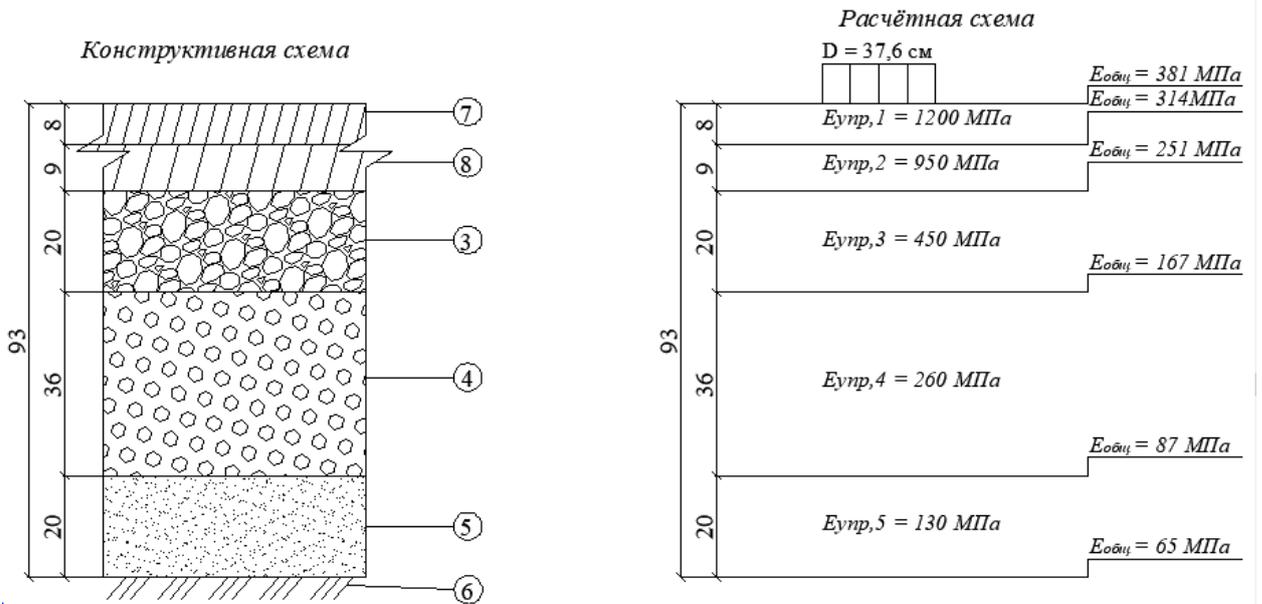


Рисунок 3.4. Конструктивная и расчетная схемы дорожной конструкции с покрытием из теплого немодифицированного асфальтобетона

Таким образом, проведенные расчеты доказали целесообразность применения теплого модифицированного асфальтобетона при устройстве дорожных покрытий автомобильных дорог в восточных регионах Сирийской Арабской Республики, которые по климатическим условиям являются наиболее опасными для использования недостаточно сдвигоустойчивых и прочных теплых асфальтобетонных смесей.

3.2 Разработка и обоснование технологии производства теплого асфальтобетона, модифицированного методом полимерно-дисперсного армирования с модификатором РТЭП-М

При разработке составов ГМА для приготовления асфальтобетонной смеси применялись следующие компоненты: битум нефтяной дорожный вязкий БНД 70/100, разжижитель (дизельное топливо), термоэластопласт резиновый РТЭП-М и минеральные материалы: щебень гранитный М1000, дробленый песок из отсеков дробления гранита М 1000, неактивированный известняковый минеральный порошок. Термоэластопласт резиновый РТЭП-М, соответствующий требованиям СТО 39952490-001-2020, предоставлен производителем - ООО «ПОЛИМЕРТЭК»

(г. Воронеж). Свойства всех применяемых материалов приняты и приведены в главе 2, пункт 2.2.1.

3.2.1 Физико-механические свойства контрольного состава теплой асфальтобетонной смеси

Для проведения эксперимента были подобраны рецепты и приготовлены: асфальтобетонная смесь плотная мелкозернистая тип Б по ГОСТ 9128-2009, зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси тип Б марки II приведен в таблице 2.13. Испытания исходных материалов, изготовление образцов и их испытания, обработка результатов выполнены в соответствии с требованиями стандартов.

Осуществлен подбор контрольных составов горячего и теплового немодифицированного асфальтобетона. В качестве органического вяжущего для ТАС использовался нефтяной битум марки БНД 70/100, разжиженный дизельным топливом, до марки БНД 200/300. Физико-механические показатели контрольных составов по ГОСТ 9128-2009 приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Физико-механические свойства контрольных асфальтобетонных смесей

№ п/п	Наименование показателя	Требования ГОСТ 9128-2009 для типа Б марки II	Горячая а/б смесь без модификатора	Тёплая а/б смесь без модификатора
1	2	3	4	5
1	Средняя плотность, г/см ³	Не норм.	2,39	2,39
2	Водонасыщение, %	1,5-4,0	2,7	2,7
3	Водостойкость	Не менее 0,8	0,95	0,96
4	Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С, МПа	Не более 13	6,8	5,6
5	Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа	Не менее 2,2	2,7	2,3
6	Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	Не менее 1,2	1,3	1,15

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что физические свойства в контрольном составе теплого асфальтобетона существенно не отличаются от их значений в горячем асфальтобетоне. С другой стороны, механические свойства теплого асфальтобетона (контрольный состав), представленные пределами прочности при сжатии, снижаются при различных температурах по сравнению с их аналогами из горячего асфальтобетона, а при высоких температурах становятся меньше нормативных требований.

Это можно объяснить тем, что за счет более вязкого битума в ГАС выше прочность асфальтобетона при высоких температурах. Кроме того перемешивание компонентов горячей смеси и уплотнение образцов происходит при более высоких температурах по сравнению с ТАС, что также влияет на показатели прочности.

3.2.2 Закономерности изменения структурно-механических и физических свойств тёплых асфальтобетонных смесей с модификатором РТЭП-М

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, которые были представлены в предыдущих главах, обоснованы преимущества применения технологии производства теплого асфальтобетона на основе битумного вяжущего низкой вязкости в условиях Сирийской Арабской Республики. Однако снижение вязкости вяжущего битума, помимо снижения температур при приготовлении и уплотнении теплых асфальтобетонных смесей, снижает стойкость асфальтобетона, особенно при высоких температурах, которые распространены в восточных районах Сирии. Все это увеличивает вероятность образования колеи и трещин в дорожных покрытиях из теплого асфальтобетона.

Применение метода полимерно-дисперсного армирования с использованием гранул модификатора РТЭП-М позволяет улучшить свойства теплого асфальтобетона и повысить его долговечность в различных условиях регионов Сирии.

Отработана лабораторная методика приготовления ТАС с содержанием в минеральной части модификатора РТЭП-М, который добавлялся в холодном состоянии к горячим минеральным материалам при интенсивном перемешивании в лабораторном смесителе до тех пор, пока гранулы модификатора не были видны в минеральной части смеси.

Модификатор добавлялся в четырех процентах от массы заполнителя (0,5; 1,0; 1,5 и 1,75). Оценивалось влияние модификатора РТЭП-М на структурно-механические свойства асфальтобетонных смесей путем определения следующих характеристик при каждом значении добавки (средняя плотность, водонасыщение, коэффициент водостойкости и предел прочности при сжатии при температурах 0; 20 и 50 °С). Методика и порядок проведения эксперимента приведены в главе 2, пункт 2.2.2.1.

Закономерности изменения структурно-механических и физических свойств тёплых асфальтобетонных смесей с модификатором РТЭП-М приведены на рисунках 3.5-3.10. Зависимость средней плотности от содержания РТЭП-М представлена на рисунке 3.5.

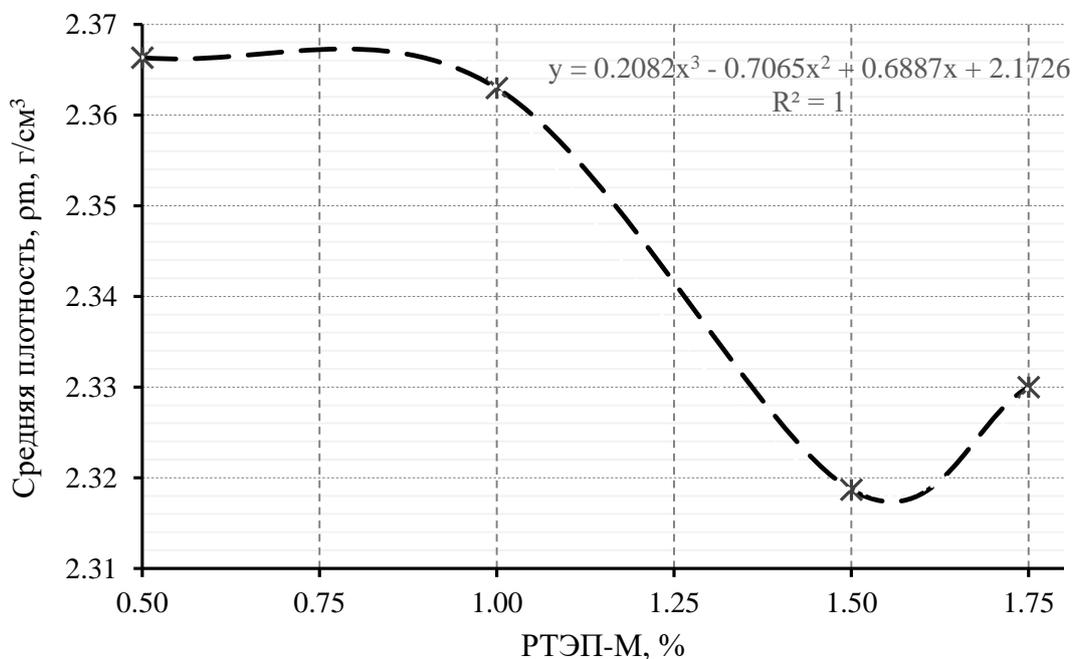


Рисунок 3.5. Зависимость средней плотности ТАС от содержания модификатора РТЭП-М

Анализ данных, представленных на рисунке 3.5, показывает, что средняя плотность теплого асфальтобетона незначительно снижается при увеличении содержания модификатора РТЭП-М в минеральной части, особенно в количестве 1% и более. Это связано с тем, что наличие гранул резинового модификатора снижает уплотняемость по мере увеличения содержания РТЭП-М в асфальтобетонной смеси, однако снижение средней плотности ТАС не было заметным при всех значениях содержания модификатора.

Зависимость водонасыщения и водостойкости от содержания РТЭП-М представлены на рисунках 3.6 и 3.7.

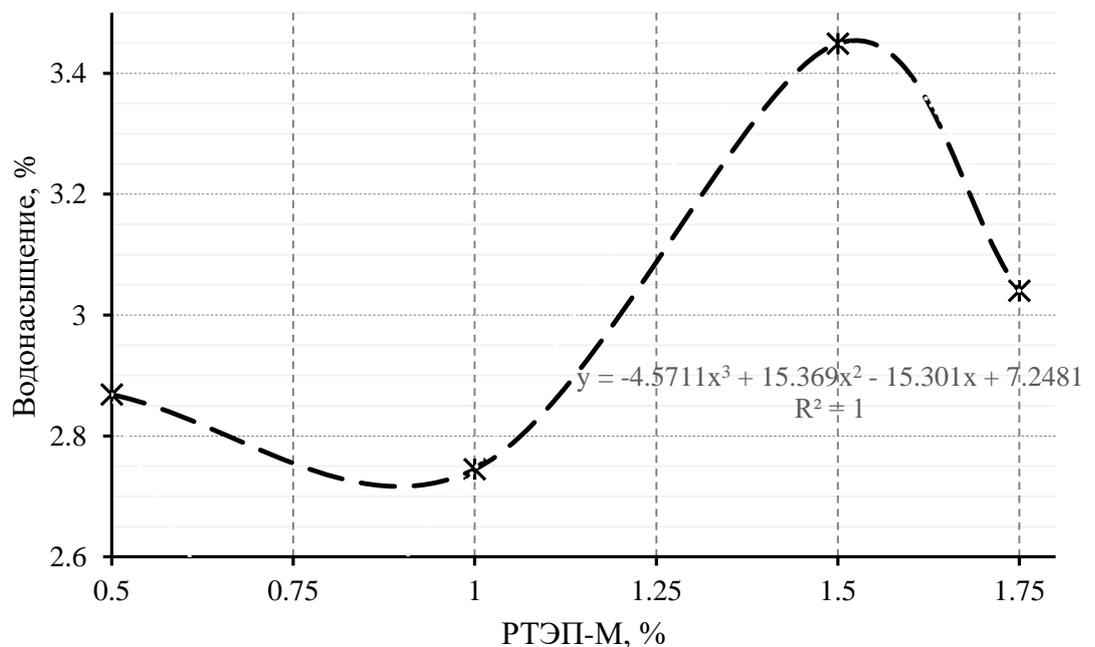


Рисунок 3.6. Зависимость водонасыщения ТАС от содержания модификатора РТЭП-М

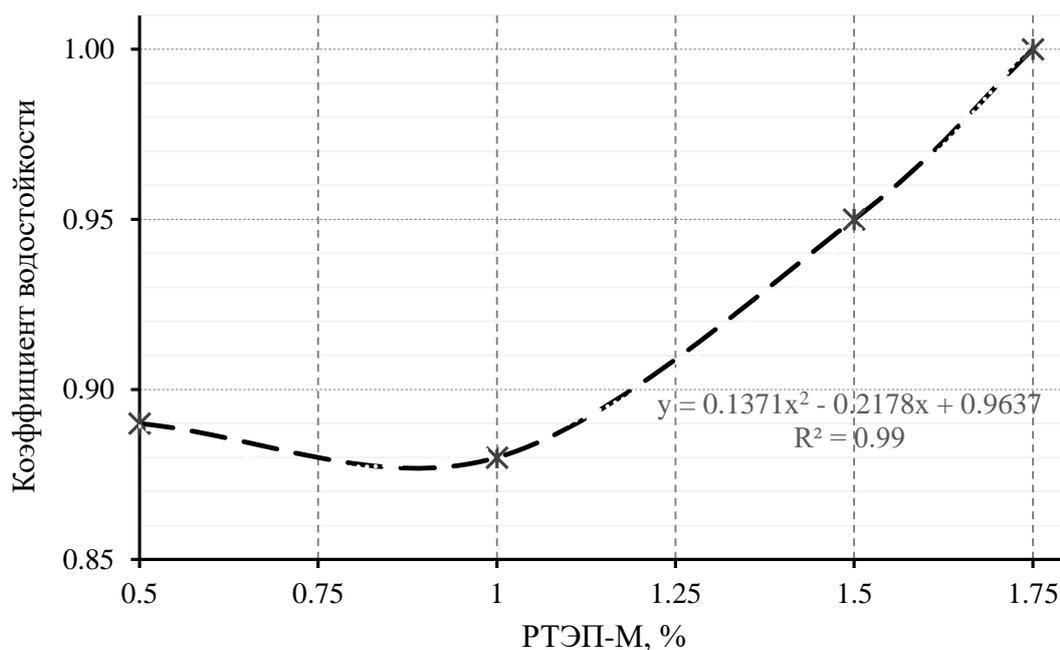


Рисунок 3.7. Зависимость коэффициента водостойкости ТАС от содержания модификатора РТЭП-М

На рисунке 3.6 показано, что изменение значения показателя водонасыщения теплой асфальтобетонной смеси с увеличением содержания РТЭП-М не заметны, в связи с чем можно сделать вывод, что водонасыщение существенно не зависит от количества РТЭП-М.

Из результатов, представленных на рисунке 3.7, мы наблюдаем, что водостойкость теплого асфальтобетона, представленная коэффициентом водостойкости, не подвергается существенному влиянию при низком содержании РТЭП-М. С другой стороны, с увеличением содержания РТЭП-М в минеральной части, особенно после 1%, значение коэффициента водостойкости значительно возрастает и достигает примерно 1,00 при содержании РТЭП-М 1,75 %. Это объясняется тем, что наличие модификатора РТЭП-М в составе теплой асфальтобетонной смеси способствует повышению водостойкости асфальтобетона, которая снижается из-за присутствия воды.

Изменение предела прочности при сжатии при температуре 0 °С теплого асфальтобетона с содержанием РТЭП-М показано на рисунке 3.8.

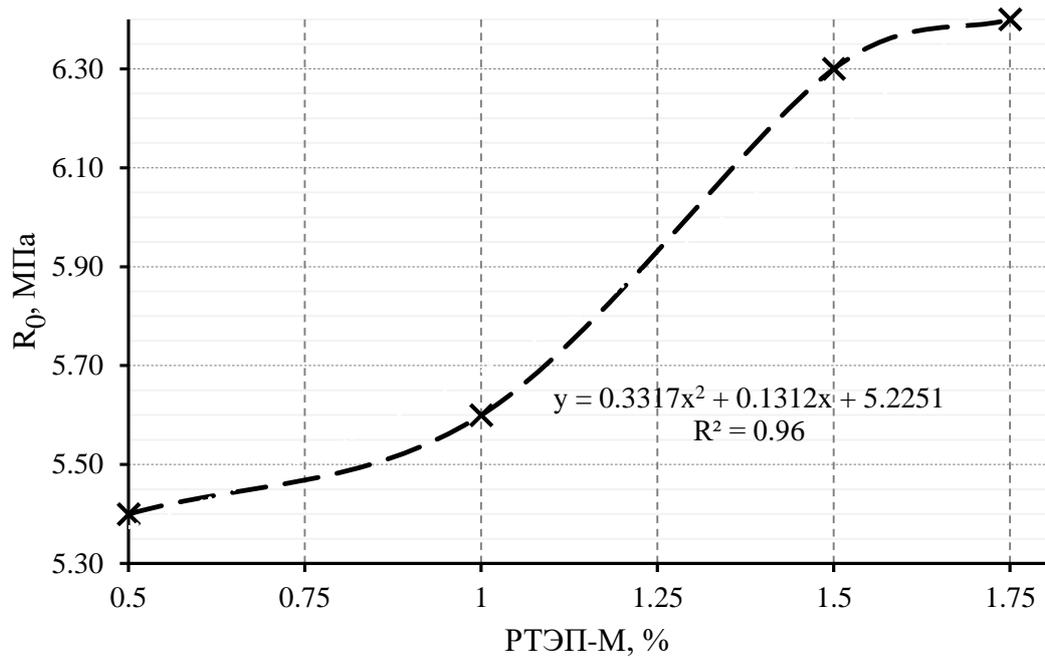


Рисунок 3.8. Зависимость предела прочности при сжатии при температуре 0 °С ТАС от содержания модификатора РТЭП-М

В отличие от традиционного горячего асфальтобетона, теплый асфальтобетон на основе битумного вяжущего низкой вязкости обладает большей гибкостью и лучшими эксплуатационными характеристиками при низких температурах. Как показывают результаты, представленные на рисунке 3.8, добавление модификатора РТЭП-М не приводит к значительному увеличению прочности при сжатии при 0 °С, так как увеличение не превышает 12 % по сравнению с контрольным составом, т.е. при низких температурах не изменяет температуру образования трещин.

Изменение предела прочности при сжатии при температуре 20 °С теплого асфальтобетона с содержанием РТЭП-М показано на рисунке 3.9.

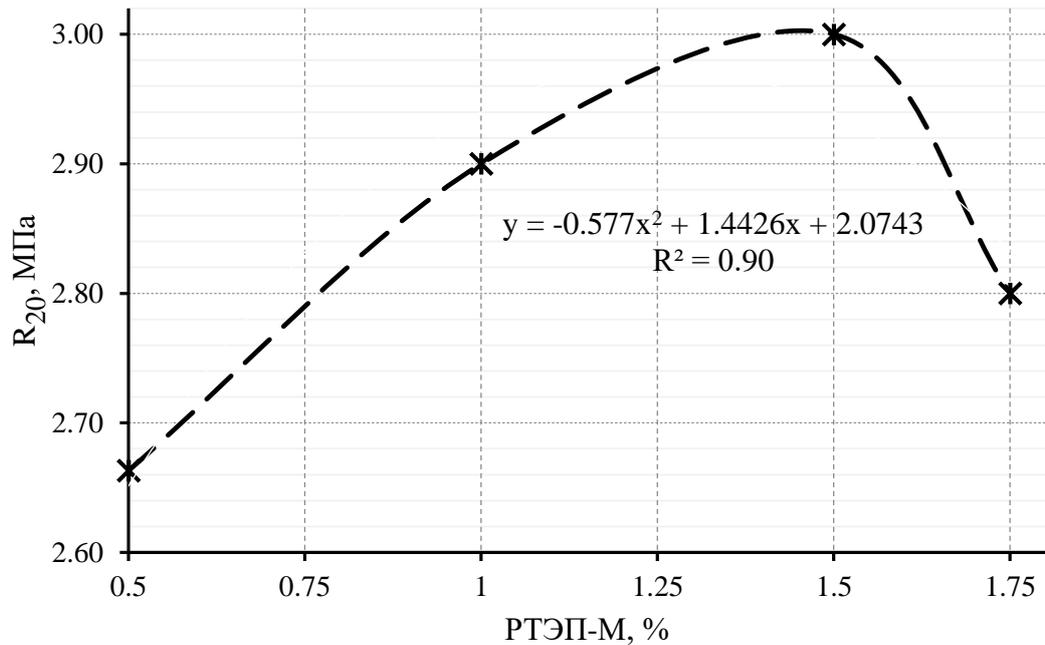


Рисунок 3.9. Зависимость предела прочности при сжатии при температуре 20 °С ТАС от содержания модификатора РТЭП-М

Добавление модификатора РТЭП-М значительно повышает стойкость теплового асфальтобетона при нормальных температурах, о чем свидетельствуют результаты, представленные на рис. 3.9. По результатам эксперимента предел прочности при сжатии при температуре 20 °С увеличивается в диапазоне содержания модификатора РТЭП-М от 0,5 до 1,5 %, где увеличение стойкости достигает 30 % при содержании модификатора 1,5 % по сравнению с контрольным составом.

Причина этого заключается в том, что состав модификатора РТЭП-М, содержащего полимер, нефтяной битум и другие компоненты, при нормальной температуре представляет собой связную смесь с достаточной стойкостью за счет хорошей адгезии как к минеральным материалам, так и к битумам.

Стойкость теплового асфальтобетона при высоких температурах считается одним из важнейших исследуемых свойств, которое в основном отражает прочность и долговечность слоев дорожной одежды из теплового асфальтобетона в условиях регионов Сирийской Арабской Республики.

Зависимость предела прочности при сжатии при температуре 50 °С ТАС от содержания модификатора РТЭП-М показана на рисунке 3.10.

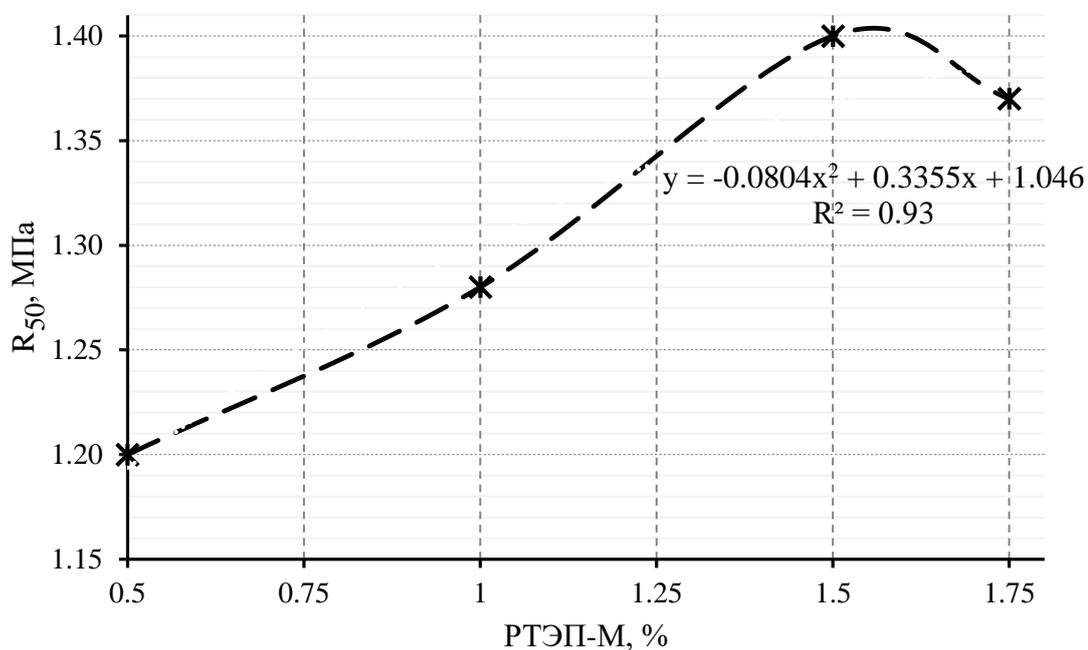


Рисунок 3.10. Зависимость предела прочности при сжатии при температуре 50 °С ТАС от содержания модификатора РТЭП-М

Из анализа данных, представленных на рисунке 3.10, делаем вывод, что введение модификатора РТЭП-М в состав асфальтобетона по указанной технологии повышает предел прочности при сжатии при температуре 50 °С. В диапазоне содержания РТЭП-М от 0,5 до 1,5 % стойкость увеличивается с увеличением количества модификатора. Так, при содержании модификатора 1,5 % стойкость увеличивается на 22 % по сравнению с контрольным составом без модификатора.

Такие результаты можно объяснить тем, что при высоких температурах гранулы добавки за счет своих компонентов (вторичный полиэтилен, битум, минеральные стабилизаторы и другие доступные материалы) компенсируют недостаток вязкости битума в теплом асфальтобетоне и повышают сцепление компонентов асфальтобетонной смеси. Таким образом, в целом добавка улучшает

вязко-упругие свойства асфальтобетона. Кроме того, наличие модификатора РТЭП-М делает асфальтобетон менее чувствительным и подверженным влиянию температурных изменений, особенно при высоких температурах.

В результате анализа результатов эксперимента по оценке влияния модификатора РТЭП-М на структурно-механические свойства теплого асфальтобетона в целом можно сделать вывод, что введение модификатора РТЭП-М в теплую асфальтобетонную смесь повышает показатели структурно-механических и физические свойств, особенно в пределах содержания модификатора РТЭП-М 1-1,5 % от массы минеральных материалов. Предел прочности при сжатии асфальтобетона возрастает во всей температурной области и наиболее значительно при повышенных температурах, при этом незначительно увеличивается значение прочности при низких температурах, что означает требуемую трещиностойкость модифицированного асфальтобетона.

Следует отметить, что значения всех физико-механических показателей ТАС остаются в допустимых пределах согласно нормативным требованиям к горячим асфальтобетонам типа Б по ГОСТ 9128-2009 [13].

Таким образом, согласно установленным закономерностям изменения механических и физических свойств теплого асфальтобетона, полученных в результате эксперимента, можно утверждать, что метод полимерно-дисперсного армирования является достаточно эффективным для обеспечения транспортно-эксплуатационных параметров асфальтобетонных покрытий в эксплуатационных условиях регионов Сирии.

3.3 Выводы по третьей главе

1. Результаты расчета по программе «Радон» при устройстве дорожных покрытий автомобильных дорог в восточных регионах Сирийской Арабской Республики показали, что конструкция с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона с общей толщиной 12 см является существенно более эффективной, чем использование немодифицированного

теплого асфальтобетона, который не соответствует применяемым стандартам проектирования.

2. Дорожная одежда с покрытием из ТМА с РТЭП-М удовлетворяет критериям сдвигоустойчивости и прочности для эксплуатации в восточных районах Сирии, которые по климатическим условиям являются наиболее сложными для использования ТАС в дорожной одежде.

3. Физические свойства в контрольном составе теплого асфальтобетона существенно не отличаются от их значений в горячем асфальтобетоне. С другой стороны, механические свойства теплого асфальтобетона (контрольный состав) снижаются при различных температурах по сравнению с их аналогами из горячего асфальтобетона.

4. Средняя плотность теплого асфальтобетона незначительно снижается при увеличении содержания модификатора РТЭП-М в минеральной части, особенно в количестве 1% и более. Показатель водонасыщения существенно не зависит от количества РТЭП-М. С увеличением содержания РТЭП-М в минеральной части, особенно после 1%, значение коэффициента водостойкости значительно возрастает и достигает примерно 1,00 при содержании РТЭП-М 1,75 %.

5. Введение модификатора РТЭП-М не приводит к значительному увеличению прочности при температуре 0 °С, т.е. при низких температурах не изменяется температура образования трещин. При этом предел прочности при сжатии при температуре 20 °С увеличивается на 30 % при содержании модификатора 1,5 % по сравнению с контрольным составом (без модификатора).

6. Введение модификатора РТЭП-М повышает предел прочности при сжатии МТА при температуре 50 °С на 22 % при содержании модификатора 1,5 % по сравнению с контрольным составом без модификатора.

7. В соответствии с установленными закономерностями изменения механических и физических свойств теплого асфальтобетона можно утверждать, что метод полимерно-дисперсного армирования является достаточно эффективным для обеспечения транспортно-эксплуатационных параметров асфальтобетонных покрытий в эксплуатационных условиях регионов Сирии.

ГЛАВА 4. ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТЕПЛОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В РАЗНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ СИРИИ

4.1 Долговечность теплового модифицированного асфальтобетона в условиях, моделирующих сухой климат восточных регионов Сирии

В ходе эксперимента было приготовлено два комплекта образцов теплового асфальтобетона: модифицированные образцы с использованием РТЭП-М в количестве 1,5% от массы минерального материала и немодифицированные образцы (без РТЭП-М). Для исследования долговечности теплового модифицированного асфальтобетона в условиях жаркого и сухого климата восточных регионов Сирийской Арабской Республики, была разработана климатическая модель, имитирующая климатические условия этих регионов, как указано во второй главе, пункт 2.2.2.2.

После применения 150 дней климатического старения по условиям разработанной климатической модели была проведена оценка долговечности теплового модифицированного асфальтобетона по влиянию климатических условий восточных районов на его свойства до и после применения модели.

Образцы и оборудование, используемые для применения климатической модели в соответствии с жаркими и сухими условиями в восточных районах Сирийской Арабской Республики, показаны на рисунке 4.1.



а) Образцы эксперимента



б) Шкаф для имитации теплого и жаркого периода



в) Шкаф для имитации холодного периода

Рисунок 4.1. Элементы применения климатической модели по условиям восточных регионов Сирии

1 – образцы теплого модифицированного асфальтобетона с РТЭП-М, 2 – образцы теплого немодифицированного асфальтобетона (контрольный состав), 3 – термостат, 4 – регулятор температуры, 5 – термометр

Образцы взвешивались в конце каждого из четырех этапов применения климатической модели с целью определения изменения массы теплого асфальтобетона в результате влияния климатических условий восточных районов Сирии. Изменения массы теплого асфальтобетона представлены в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 - Зависимость изменения массы теплого немодифицированного асфальтобетона от этапов климатического старения (контрольный состав)

№ образца	Масса образца исходная, г.	Изменение массы образца, % на этапе старения			
		1	2	3	4
I	692,86	-0,006	-0,006	-0,019	-0,032
II	698,69	-0,003	-0,003	0,009	-0,019
III	694,98	-0,001	-0,001	-0,010	-0,012
IV	692,22	-0,004	-0,004	-0,012	-0,013
V	694,72	-0,007	-0,007	-0,019	-0,020
VI	695,99	-0,001	-0,001	-0,009	-0,010
VII	695,02	-0,003	-0,003	-0,016	-0,019
VIII	694,71	-0,001	-0,001	-0,014	-0,023
IX	694,77	-0,003	-0,003	-0,013	-0,024
X	694,71	-0,003	-0,003	-0,004	-0,007
XI	696,28	-0,003	-0,003	-0,003	-0,007
XII	691,88	-0,001	-0,001	-0,012	-0,019
Среднее значение за все этапы старения					-0,017

Таблица 4.2 - Зависимость изменения массы теплого модифицированного асфальтобетона от этапов климатического старения

№ образца	Масса образца исходная, г.	Изменение массы образца, % на этапе старения			
		1	2	3	4
1	696,10	-0,004	-0,004	-0,011	-0,016
2	691,50	-0,004	-0,004	-0,012	-0,012
3	694,34	-0,006	-0,006	-0,014	-0,016
4	691,97	-0,006	-0,006	-0,013	-0,020
5	692,96	-0,004	-0,004	-0,009	-0,009
6	693,61	-0,003	-0,003	-0,013	-0,013
7	692,11	-0,004	-0,004	-0,010	-0,013
8	693,60	-0,006	-0,006	-0,017	-0,016
9	694,85	-0,004	-0,004	-0,014	-0,014
10	696,29	-0,004	-0,004	-0,017	-0,019
11	696,07	-0,004	-0,003	-0,010	-0,011
12	696,12	-0,004	-0,004	-0,013	-0,013
Среднее значение за все этапы старения					-0,014

Исследование изменения массы теплого асфальтобетона является важным показателем, выражающим долговременную стабильность структуры и состава асфальтобетона. Рассмотрев полученные зависимости, можно отметить, что произошло незначительное изменение массы образцов МТА и контрольного состава после всех этапов климатического старения. Таким образом, верхний слой покрытия из теплого асфальтобетона показал достаточно высокую климатическую стойкость в жарких и сухих условиях восточных регионов Сирии.

После применения климатических условий восточных регионах Сирии за один условный год эксплуатации путем применения всех этапов климатической модели были проведены испытания модифицированного и немодифицированного теплого асфальтобетона для оценки долговечности дорожной одежды. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Физико-механические показатели теплого асфальтобетона до и после климатического старения (восточные регионы в Сирии)

№ п/п	Наименование показателя	Величина показателя			
		Контрольный состав		Модифицированный асфальтобетон	
		Исходное значение	После старения	Исходное значение	После старения
1	Средняя плотность, г/см ³	2,39	2,40	2,32	2,35
2	Водонасыщение, %	2,7	2,46	3,4	2,53
3	Предел прочности при сжатии, при температуре 50 °С, МПа	1,15	1,46	1,4	2,0
4	Предел прочности при сжатии, при температуре 20 °С, МПа	2,3	3,0	3,0	3,8
5	Предел прочности при сжатии, при температуре 0 °С, МПа	5,6	6,18	6,3	7,2
6	Коэффициент водостойкости	0,96	0,95	0,95	0,99
7	Коэффициент температурной чувствительности	4,87	4,2	4,5	3,6

Анализ результатов изменения физико-механических показателей теплого асфальтобетона после всех этапов климатического старения показывает увеличение прочности теплого асфальтобетона.

Наблюдается существенный прирост показателей предела прочности при сжатии при различных температурах 0, 20 и 50 °С как для контрольного состава, так и для модифицированного состава асфальтобетона, прочность на сжатие в теплом модифицированном асфальтобетоне увеличивается в 1,43 и 1,27 раза при температуре 50 и 20 °С соответственно по сравнению с исходными значениями до климатического старения.

Это можно объяснить тем, что в результате сухих и жарких условий вязкость маловязкого битума в теплом асфальтобетоне со временем увеличивается, а также увеличивается сцепления между битумными и минеральными материалами с одной стороны и РТЭП- М с другой стороны. Кроме того, наличие модификатора РТЭП- М, который содержит вторичный полиэтилен, битум, минеральные стабилизаторы и другие доступные материалы, увеличивает сцепление между компонентами асфальтобетонной смеси, особенно при высоких температурах, в результате чего повышается стойкость и долговечность дорожного покрытия.

При этом модифицированный состав асфальтобетона показал меньшую зависимость предела прочности при сжатии от температуры в сравнении с контрольным составом, как для исходных значений, так и после всех этапов климатического старения. Так, коэффициент температурной чувствительности теплого модифицированного асфальтобетона с первоначального значения 4,5 уменьшился до 3,6, а контрольного состава с 4,87 до 4,2. Незначительная вариация показателя предела прочности при сжатии при температурах от 0 до 50 °С свидетельствует о низкой вероятности образования пластических дефектов на дорожных покрытиях из модифицированного теплого асфальтобетона. Отметим, что показатель предела прочности при сжатии при температуре 50 °С у модифицированного состава существенно выше, в сравнении с контрольным составом теплого асфальтобетона.

Показатели физических свойств (средняя плотность, водонасыщение) теплого модифицированного асфальтобетона после всех этапов климатического старения изменились незначительно. Можно отметить незначительное снижение показателя водонасыщения модифицированного состава на величину менее 1 %, что, вероятно, свидетельствует об увеличении количества замкнутых пор в граничных областях материала после длительного температурного воздействия.

Таким образом, результаты эксперимента доказали целесообразность и эффективность применения теплого модифицированного асфальтобетона при строительстве и ремонте автомобильных дорог в условиях жаркого и сухого климата Сирии.

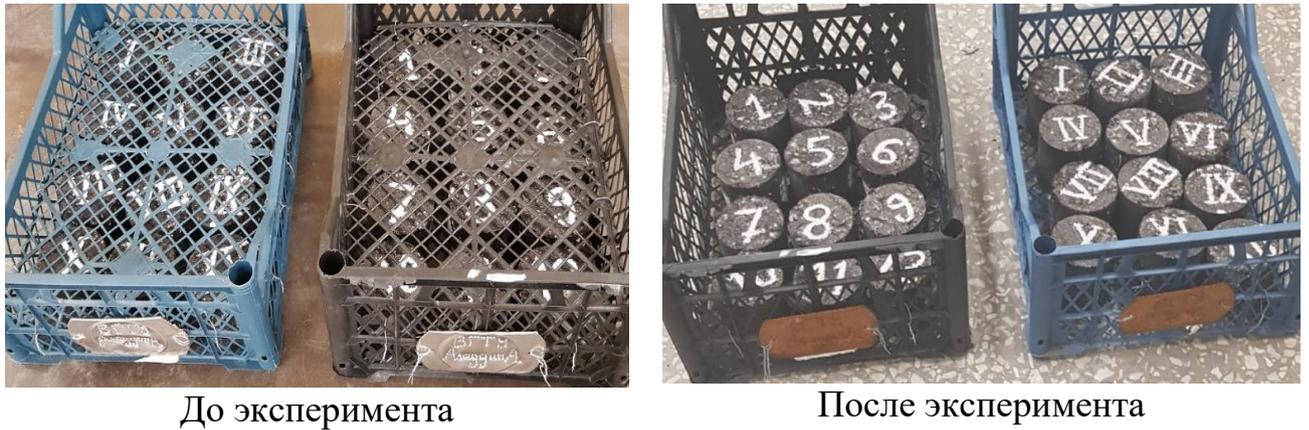
4.2 Долговечность теплого модифицированного асфальтобетона в условиях, моделирующих влажный климат западных регионов Сирии

Долговечность теплого модифицированного асфальтобетона в теплых и влажных условиях западных регионов Сирии исследовалась по методике, указанной во второй главе пункта 2.2.2.2.

Подготовленные образцы были разделены на две группы: модифицированные образцы с использованием 1,5% РТЭП-М от массы минеральной части и немодифицированные образцы (без РТЭП-М), все они были пронумерованы и взвешены перед климатическим старением. Затем для климатического старения образцы размещались на открытом пространстве, подверженном воздействию погодных условий, циклов солнечного излучения и увлажнения в результате осадков в течение условного климатического года в период с 15-ого марта по 15-ое октября в условиях климата теплого периода Воронежской области РФ.

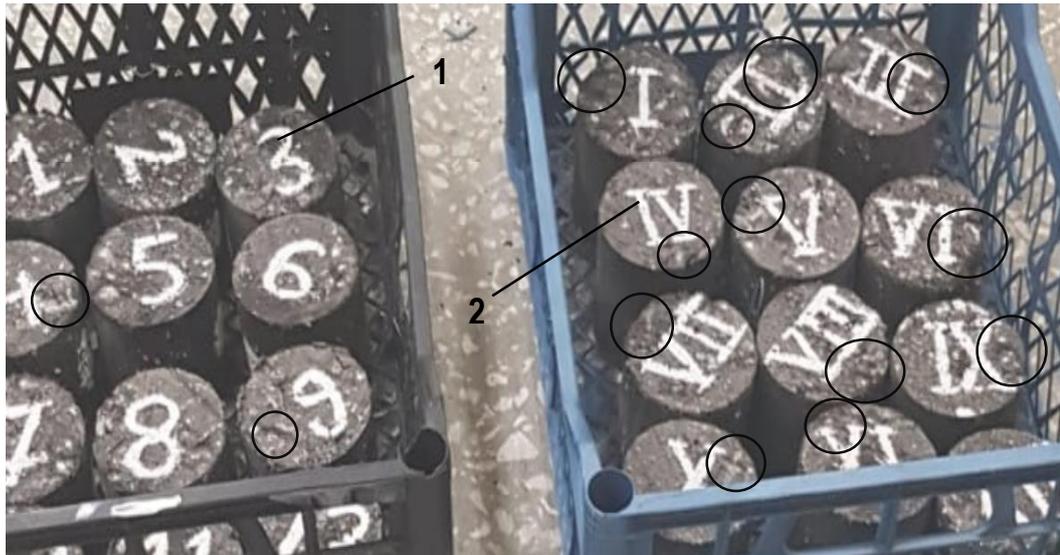
По истечении этого срока образцы были переданы в лабораторию, где их взвешивали и проводили необходимые испытания для определения показателей их физико-механических свойств.

На рисунке 4.1 показано состояние образцов до и после применения климатической модели, а также деформации и повреждения модифицированного асфальтобетона после климатического старения в условиях, моделирующих влажный климат западных регионов Сирии.



До эксперимента

После эксперимента



Влияние климатического старения

Рисунок 4.2. Долговечность теплого асфальтобетона в климатических условиях западных регионов Сирии

1 – образцы теплого модифицированного асфальтобетона с РТЭП-М, 2 – образцы теплого немодифицированного асфальтобетона

При визуальном осмотре образцов после всех этапов климатического старения, как показано на рисунке 4.2, для немодифицированных теплых образцов асфальтобетона наблюдались большие повреждения и деформации по сравнению с теплым модифицированным асфальтобетоном.

Изменения массы образцов асфальтобетона до и после климатического старения представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Зависимость изменения массы теплого асфальтобетона от этапов климатического старения

Без модификатора			С модификатором		
№ образца	Масса образца исходная, г	Изменение массы образца после старения, %	№ образца	Масса образца исходная, г	Изменение массы образца после старения, %
I	694,59	0,069	1	693,00	0,056
II	693,28	0,072	2	693,66	0,061
III	694,13	0,081	3	693,85	0,068
IV	694,56	0,071	4	696,01	0,050
V	693,69	0,086	5	690,92	0,058
VI	689,92	0,090	6	693,81	0,059
VII	696,45	0,080	7	691,29	0,052
VIII	694,84	0,083	8	691,14	0,051
IX	692,65	0,077	9	695,51	0,065
X	695,55	0,069	10	692,95	0,062
XI	696,04	0,075	11	693,02	0,059
XII	692,11	0,087	12	692,02	0,053
Среднее значение		0,078	Среднее значение		0,058

При анализе полученных экспериментальных данных было отмечено, что изменение массы модифицированного и немодифицированного теплого асфальтобетона после климатического старения было незначительным. При этом изменение массы было больше в образцах немодифицированного состава в сравнении с модифицированным. В целом же теплый асфальтобетон показал стабильность.

Результаты определения показателей физико-механических свойств модифицированного и немодифицированного (контрольного состава) теплого асфальтобетона до и после климатического старения показаны в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Физико-механические показатели теплого асфальтобетона до и после климатического старения (западные регионы в Сирии)

№ п/п	Наименование показателя	Величина показателя			
		Контрольный состав		Модифицированный асфальтобетон	
		Исходное значение	После старения	Исходное значение	После старения
1	Средняя плотность, г/см ³	2,39	2,38	2,32	2,36
2	Водонасыщение, %	2,7	3,6	3,4	2,4
3	Предел прочности при сжатии, при температуре 50 °С, МПа	1,15	1,0	1,4	2,0
4	Предел прочности при сжатии, при температуре 20 °С, МПа	2,3	2,0	3,0	3,6
5	Предел прочности при сжатии, при температуре 0 °С, МПа	5,6	6,7	6,3	7,1
6	Коэффициент водостойкости	0,96	0,75	0,95	0,98
7	Коэффициент температурной чувствительности	4,87	6,7	4,5	3,55

Результаты анализа показателей физико-механических свойств после климатического старения свидетельствуют о повышении прочности и долговечности теплого модифицированного асфальтобетона, что является положительным фактором для теплого климата западных районов Сирийской Арабской Республики.

Существенное увеличение прочности на сжатие образцов при температурах 20 и 50 °С наблюдается у теплого модифицированного асфальтобетона после

климатического старения в сравнении с снижением прочности в контрольном составе (без модификатора). Прочность на сжатие в ТМА увеличивается в 1,43 и 1,20 раза при температуре 50 и 20 °С соответственно по сравнению со значениями до климатического старения. В то время как прочность на сжатие теплого модифицированного асфальтобетона при 0 °С, как показывают результаты, не увеличивается на большую величину (не превышает 12 % после климатического старения) означает, что температура образования трещин не снижается при низких температурах.

Результаты также показали, что в модифицированном составе после климатического старения коэффициент температурной чувствительности снизился с 4,5 до 3,55, что означает меньшую зависимость прочности при сжатии от температуры и большую стойкость к образованию пластических дефектов в верхних слоях дорожного покрытия, устроенного из модифицированного теплого асфальтобетона. С другой стороны, коэффициент температурной чувствительности в контрольном составе увеличился с 4,87 до 6,7, что означает большее влияние на прочность при сжатии при изменении температуры среды и большую вероятность образования пластических деформаций дорожного покрытия.

Обратим внимание на то, что в результате климатического старения во влажных условиях показатели предела прочности при сжатии при температуре 20 и 50 °С у контрольного состава снизились и перестали соответствовать требованиям ГОСТ 9128-2013 [129], хотя исходные показатели свойств были в пределах нормативных требований. Напротив, у модифицированного состава эти указанные показатели увеличились в сравнении с контрольным составом теплого асфальтобетона. Это связано с влиянием влажных и теплых условий на снижение сил сцепления между компонентами теплой асфальтобетонной смеси, приготовленной на основе маловязкого битума, и, как следствие, снижение сопротивления. С другой стороны, модификатор РТЭП-М в составе модифицированной теплой асфальтобетонной смеси играет роль противодействия влиянию влаги и повышения сцепления между компонентами ТМА при различных температурах эксплуатации.

Улучшились показатели физических свойств теплого модифицированного асфальтобетона (средняя плотность, водонасыщение) после климатического старения. Отметим, снижение показателя водонасыщения, что означает улучшение условий эксплуатации для теплого модифицированного асфальтобетона во влажном климате.

Анализ результатов экспериментов по оценке эффективности применения теплого модифицированного асфальтобетона в различных климатических условиях Сирии с использованием лабораторно-натурного моделирования позволил разработать техническую карту, представленную на рисунке 4.3, с указанием регионов, в которых рекомендуется применение ТМА в Сирийской Арабской Республике.

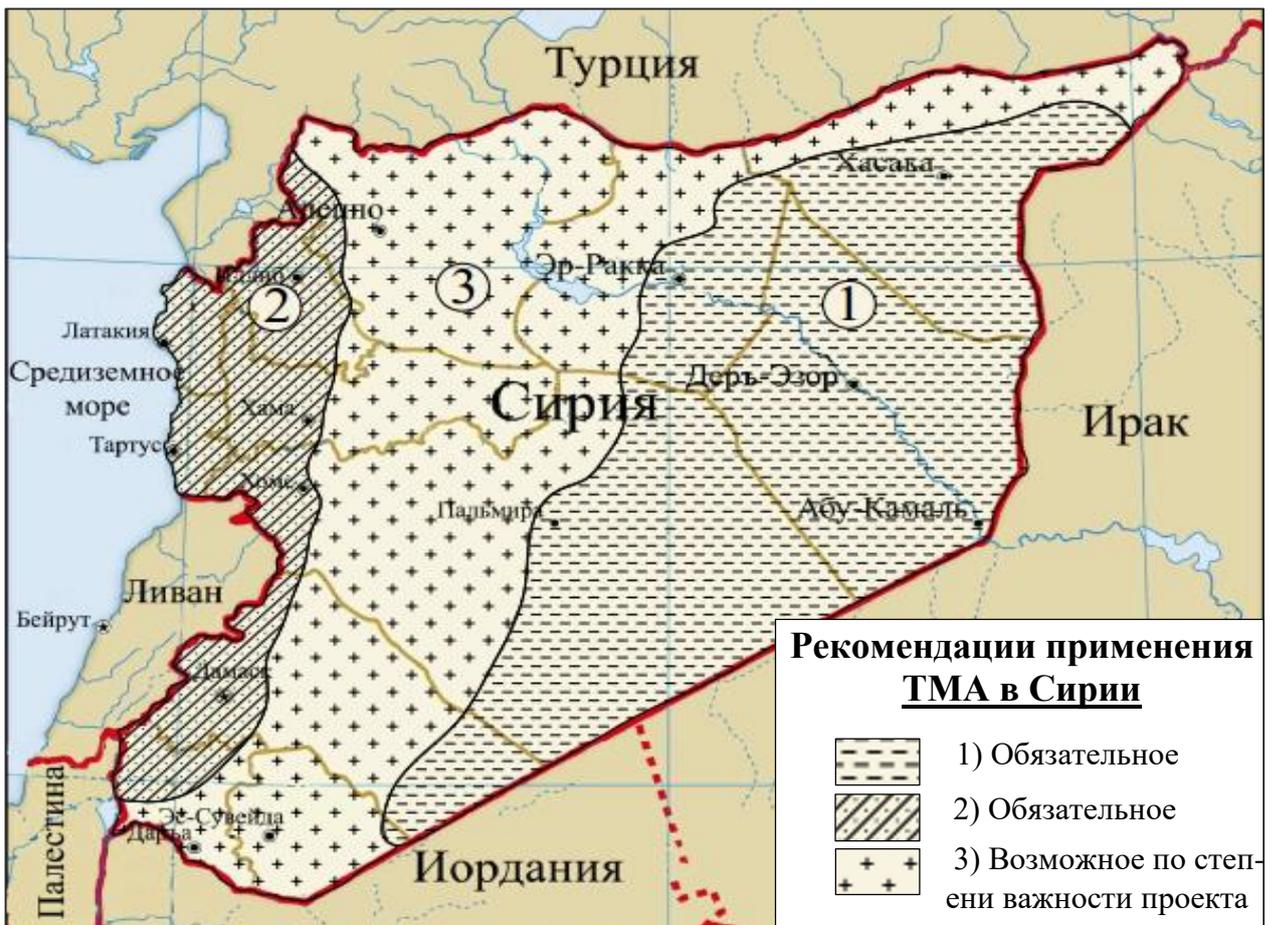


Рисунок 4.3. Техническая карта регионов с рекомендуемым применением ТМА в Сирийской Арабской Республике 1) восточные регионы, 2) западные регионы и 3) центральные регионы

Таким образом, результаты экспериментов подтвердили долговечность и стойкость дорожного покрытия из теплого модифицированного асфальтобетона, а следовательно, целесообразность и эффективность его применения при строительстве и ремонте автомобильных дорог в различных климатических регионах Сирии.

4.3 Повышение долговечности покрытий из теплого модифицированного асфальтобетона в условиях интенсивного дорожного движения

Интенсивность и нагрузка дорожного движения являются одними из важнейших факторов, влияющих на долговечность слоев дорожной одежды, особенно когда их действие накладывается на влияние факторов внешней среды, наиболее опасными из которых являются высокие температуры. Вышеуказанные факторы оказывают большее влияние на эффективность эксплуатации слоев дорожной одежды при устройстве дорог из теплого асфальтобетона в районах с жарким климатом в Сирийской Арабской Республике. Наиболее серьезным дефектом, который может образоваться в результате действия предыдущих факторов, является колейность.

Испытание стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса с использованием современных лабораторных приборов и оборудования, считается одним из надежных испытаний, которые можно применять для оценки долговечности дорожных покрытий в условиях интенсивного дорожного движения и природных условий.

С помощью лабораторного оборудования имитационного моделирования была исследована устойчивость ТМА к колееобразованию в условиях интенсивного дорожного движения. По методике, указанной в пункте 2.2.2.3 второй главы, при проведении эксперимента были исследованы три асфальтобетонные смеси А16ВН по ГОСТ Р 58406.2-2020 [131]: горячая

асфальтобетонная смесь без модификатора, горячая асфальтобетонная смесь с РТЭП-М и теплая модифицированная асфальтобетонная смесь с РТЭП-М.

Массу образцов для испытания стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса m , кг. вычисляют по формуле:

$$m = a \cdot b \cdot 10^{-6} \cdot \frac{100 - P_a}{100} \cdot t \cdot G_{mm}, \quad (4.1)$$

где, a , b - требуемая длина и ширина образца, по нашему эксперименту 300x400 мм соответственно;

P_a - содержание воздушных пустот в асфальтобетоне, мм;

t - требуемая толщина образца, по нашему эксперименту 55 мм;

G_{mm} - максимальная плотность асфальтобетона, г/см³.

Содержание воздушных пустот в асфальтобетоне P_a , %. вычисляют по формуле:

$$P_a = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \cdot 100, \quad (4.2)$$

где G_{mb} - объемная плотность асфальтобетона, г/см³.

Физические свойства асфальтобетонных смесей и формирование образцов определяли по методу Маршалла (рисунки 4.4 и 4.5).



Рисунок 4.4. Автоматический компактор для формирования образцов Маршалла



Рисунок 4.5. Вакуумный пикнометр для определения максимальной плотности асфальтобетонной смеси

Физические свойства асфальтобетонных смесей приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Физические показатели асфальтобетонных смесей А16В_Н

№ п/п	Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020 для А16В _Н	Фактическая величина показателя для смеси, содержание модификатора в смеси		
			Горячая без модификатора	Горячая, 0,3 % РТЭП-М по массе	Теплая, 0,6 % РТЭП-М по массе
1	2	3	4	5	6
1	Объемная плотность, г/см ³	Не норм.	2,38	2,37	2,36
2	Максимальная плотность, г/см ³	Не норм.	2,49	2,47	2,47
3	Содержание воздушных пустот, %	2,5-4,5	4,06	4,1	4,5
4	Пустоты в минеральном заполнителе, %	Не менее 12	15,86	-	-
5	Пустоты, наполненные битумным вяжущим, %	67-80	75,41	-	-

Результаты исследования физических свойств трех образцов асфальтобетона показали, что существенной разницы в значении объемной плотности нет, в то время как содержание воздушных пустот в асфальтобетоне различно и наибольшее его значение приходится на теплый модифицированный асфальтобетон, но он продолжает соответствовать стандартным требованиям по ГОСТ Р 58406.2-2020 [131].

После определения параметров трех образцов (плиты), необходимых для проведения испытания на стойкость к колееобразованию. Плиты подготавливались и уплотнялись в соответствии с требованиями испытаний таким образом, чтобы

имитировать проезд реальных дорожных катков для уплотнения асфальтобетонной смеси (рисунки 4.6 и 4.7).



Рисунок 4.6. Катковый секторный уплотнитель



Рисунок 4.7. Плиты для испытания на колеобразование асфальтобетона

Испытание проводили по условиям температуры и нагружения, и количеству циклов нагружения по стандартным требованиям. Была определена зависимость глубины колеи от количества циклов нагружения для каждого типа асфальтобетона, как показано на рисунках 4.8, 4.9 и 4.10.

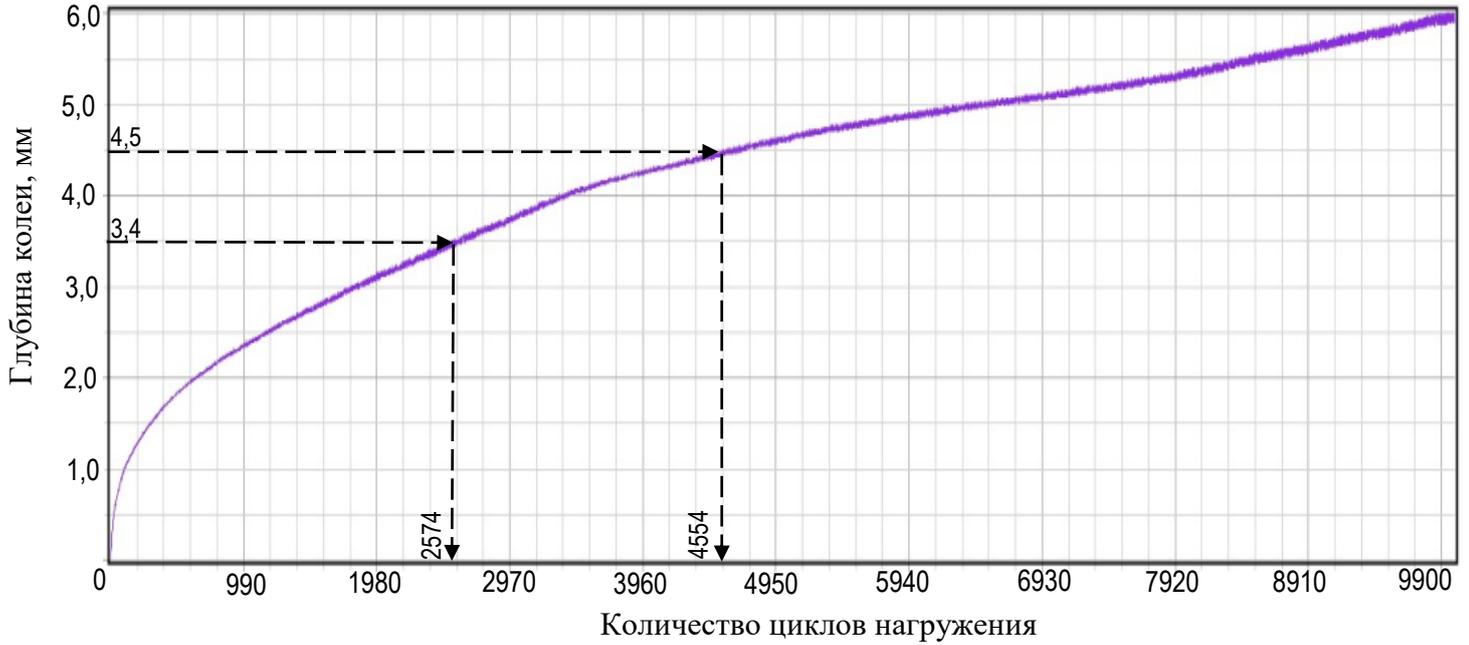


Рисунок 4.8. Зависимость глубины колеи от количества циклов нагружения
(горячая асфальтобетонная смесь без РТЭП-М)

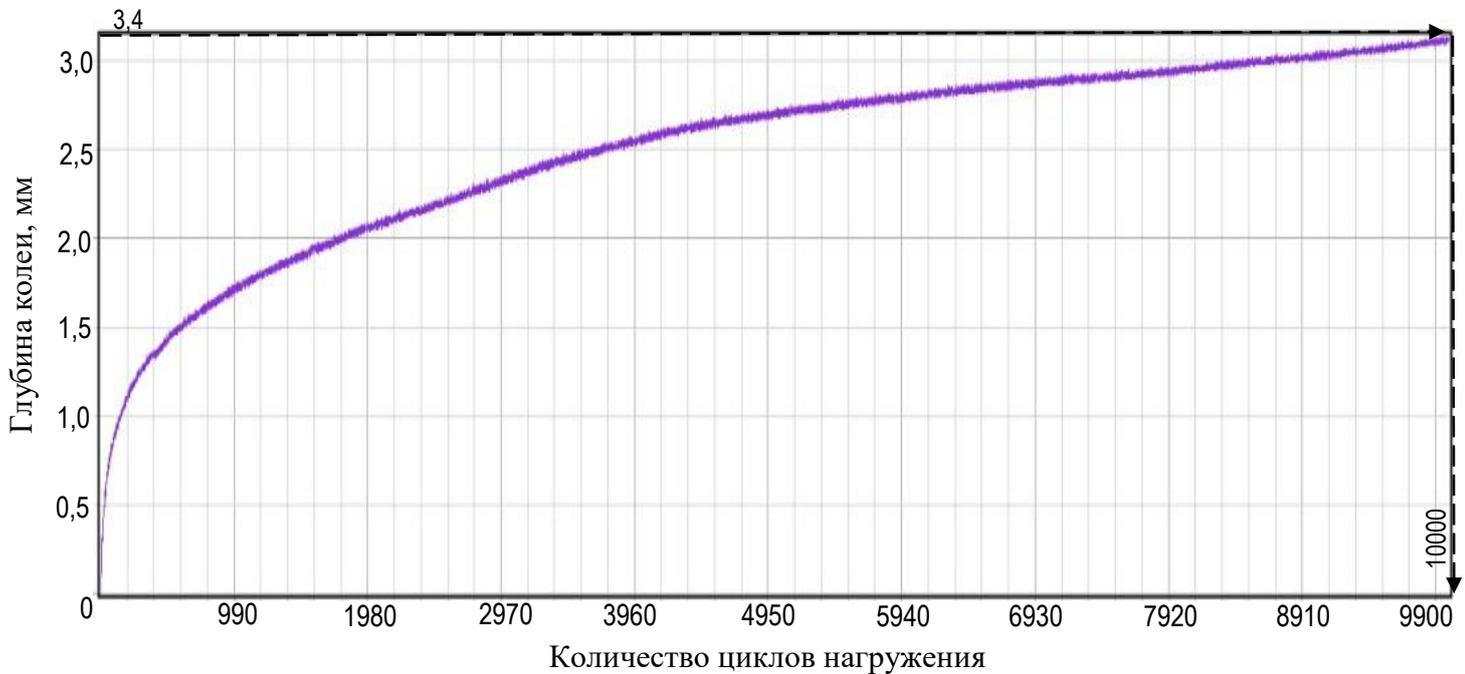


Рисунок 4.9. Зависимость глубины колеи от количества циклов нагружения
(горячая асфальтобетонная смесь с РТЭП-М)

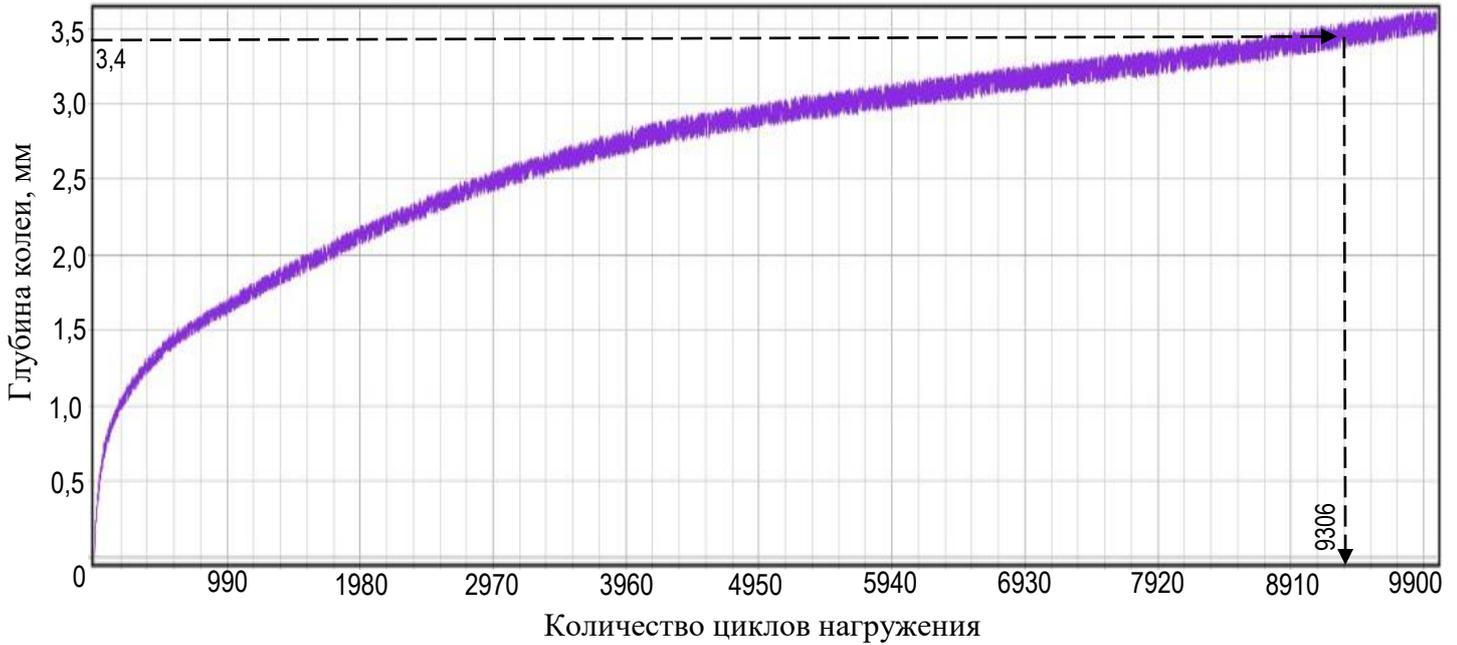


Рисунок 4.10. Зависимость глубины колеи от количества циклов нагружения
(теплая асфальтобетонная смесь с РТЭП-М)

Результаты анализа, представленные на рисунках 4.8, 4.9 и 4.10, показали, что немодифицированный горячий асфальтобетон (контрольный состав) является наименее устойчивым к колееобразованию, так как достигает предельного нормативного значения при 4554 циклах нагружения. Напротив, глубина колеи 3,4 мм образуется после 2574, 10000 и 9306 циклов нагружения в горячем асфальтобетоне без модификатора, горячем асфальтобетоне с РТЭП-М и теплом модифицированном асфальтобетоне с РТЭП-М соответственно. Это означает большую стойкость к образованию пластических дефектов и увеличение срока службы автомобильных дорог в 3,6 раза для ТМА и в 3,9 раза для горячего модифицированного асфальтобетона по сравнению с контрольным составом.

Результаты испытаний образцов-плит и эксплуатационные показатели асфальтобетонных смесей А16В_Н приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Эксплуатационные показатели асфальтобетонных смесей А16В_Н

№ п/п	Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020 для А16В _Н	Фактическая величина показателя для смеси, содержание модификатора в минеральной части смеси, % по массе		
			Горячая, без модификатора	Горячая, 0,3 РТЭП-М	Теплая, 0,6 РТЭП-М
1	2	3	4	5	6
1	Средняя глубина колеи, мм	не более 4,5	5,81	3,41	3,52

В ходе эксперимента установлено, что горячий асфальтобетон А16В_Н без модификатора не соответствует нормативным требованиям по показателю средней глубины колеи, что свидетельствует о недостаточной устойчивости контрольного состава ГАС к колееобразованию и является следствием недостаточного уровня структурно-механических свойств горячего асфальтобетона. Применение ТМА при устройстве покрытий автомобильных дорог позволяет уменьшить глубину колеи в среднем в 1,65 раза по сравнению с горячим асфальтобетоном контрольного состава. Теплый асфальтобетон, модифицированный РТЭП-М в количестве 0,6 % от массы минеральной части, показал хорошую устойчивость к пластическим деформациям с показателями, эквивалентными горячему модифицированному асфальтобетону с РТЭП-М, что свидетельствует о высоком уровне структурно-механических свойств теплого модифицированного асфальтобетона для его эксплуатации в условиях интенсивных транспортных нагрузок.

Есть следующие предложения по повышению устойчивости к колееобразованию и структурно-механических свойств асфальтобетона, приготовленных на отечественных минеральных материалах и дорожных битумах марок БНД. Известно, что на устойчивость к колееобразованию горячего асфальтобетона влияет ряд структурообразующих факторов, к которым, в первую очередь, относится макроструктура асфальтобетона, где за счет увеличения содержания щебня в минеральной части можно недорого и эффективно улучшать механические показатели, а во-вторых, это микроструктура материала, где

определяющую роль играют свойства органического вяжущего оказывают определяющую роль. Так, применение более вязкой марки нефтяного дорожного битума также улучшает структурно-механические показатели и устойчивость к колееобразованию горячего асфальтобетона.

По ГОСТ Р 58406.2 - 2020 [131] определяющими качество и устойчивость к деформациям асфальтобетона в дорожном покрытии являются показатели эксплуатационных свойств. Проведенный эксперимент показал существенные трудности в достижении требуемых показателей эксплуатационных свойств контрольного состава горячего асфальтобетона, соответствующего нормативным требованиям по содержанию в минеральной части смеси минеральных компонентов, с использованием отечественных вязких дорожных битумов марок БНД. Таким образом, вышеуказанные известные структурообразующие факторы являются недостаточно эффективными для получения требуемого показателя устойчивости горячего асфальтобетона к колееобразованию.

Достижение требуемых значений устойчивости к колееобразованию в соответствии с указанным стандартом возможно путем применения полимерно-битумных вяжущих взамен отечественных нефтяных битумов марок БНД, что потребует более чем 100 % удорожания применяемого органического вяжущего или применением недорогого и эффективного метода полимерно-дисперсного армирования. Как показали результаты проведенного эксперимента, путем дисперсного армирования существенное повышение устойчивости к колееобразованию достигается не только для горячего, но и для теплого асфальтобетона на маловязком вяжущем, полученном разжижением битума БНД 70/100 дизельным топливом до условной вязкости 250 x 0,1 мм.

Применение метода полимерно-дисперсного армирования расширяет возможность использования более эффективной теплой технологии приготовления асфальтобетонных смесей для устройства дорожных покрытий, в том числе и в регионах с жарким климатом.

В заключение подчеркнем, что другие технологии производства немодифицированных теплых асфальтобетонных смесей (пенообразование,

органические и химические добавки) требуют дорогих специальных материалов и оборудования, а также сложного контроля и управления этапами производства, что в настоящее время не может широко использоваться в САР. Технология производства модифицированных ТАС с малой вязкостью используемого битума позволяет снизить температуру приготовления и уплотнения, а также энергозатраты без применения специальных материалов и оборудования. Состав и требования к модификатору РТЭП-М несложные, а производство его аналога можно организовать в Сирии. На рисунке 4.11 представлены этапы производства модифицированной ТАС по теплой технологии с использованием разжиженного битума и модификатора РТЭП-М.

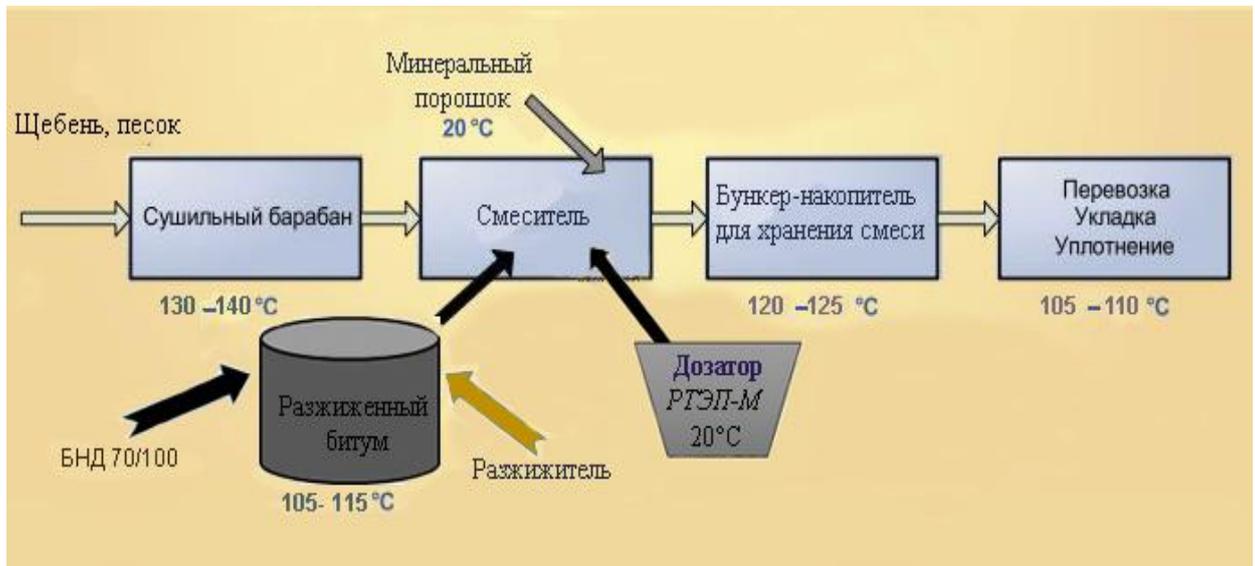


Рисунок 4.11. Схема технологии производства ТАС, модифицированной методом полимерно-дисперсного армирования

Применение метода полимерно-дисперсионного армирования при производстве теплых асфальтобетонных смесей позволяет использовать эффективную и ресурсосберегающую технологию устройства и ремонта дорожных покрытий в условиях Сирийской Арабской Республики.

По результатам диссертационного исследования разработаны рекомендации по приготовлению и применению ТАС, модифицированного методом полимерно-дисперсного армирования с использованием модификатора РТЭП-М в условиях

Сирийской Арабской Республики (на арабском языке), которые приведены в приложении В настоящей диссертационной работы.

4.4 Выводы по четвёртой главе

1. Предел прочности при сжатии при различных температурах 0, 20 и 50 °С увеличивается как для контрольного состава, так и для теплого модифицированного асфальтобетона после климатического старения в жарком и сухом климате восточных регионов Сирии, где прочность на сжатие в ТМА увеличивается в 1,43 и 1,27 раза при температуре 50 и 20 °С соответственно.

2. Прочность образцов теплого модифицированного асфальтобетона при сжатии при температуре 50 и 20 °С увеличивается в 1,43 и 1,20 раза соответственно после климатического старения за один условный год эксплуатации во влажном и теплом климате в сравнении со снижением прочности в контрольном составе (без РТЭП-М).

3. Не рекомендуется применять дорожные покрытия из теплого немодифицированного асфальтобетона во влажных условиях западных районов Сирии из-за их несоответствия стандартным требованиям после климатического старения.

4. Теплый модифицированный асфальтобетон показал меньшую зависимость предела прочности при сжатии от температуры в сравнении с контрольным составом, как для исходных значений, так и после всех этапов климатического старения (восточные и западные регионы Сирии). Так, низкая вероятность образования пластических дефектов на дорожных покрытиях из модифицированного теплого асфальтобетона.

5. Применение метода полимерно-дисперсного армирования асфальтобетона на основе российского модификатора РТЭП-М позволяет широко использовать отечественные минеральные материалы и вязкие дорожные битумы марок БНД для приготовления теплого асфальтобетона, соответствующего нормативным

требованиям с повышенным сроком службы до 3,6 по сравнению с контрольным составом (ГАС без РТЭП-М).

6. Горячий асфальтобетон А16В_Н без модификатора не соответствует нормативным требованиям по показателю средней глубины колеи, что свидетельствует о недостаточной устойчивости контрольного состава ГАС к колееобразованию. Применение ТМА при устройстве покрытий автомобильных дорог позволяет уменьшить глубину колеи в среднем в 1,65 раза по сравнению с горячим асфальтобетоном контрольного состава с показателями, эквивалентными горячему модифицированному асфальтобетону с РТЭП-М.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой разработано и обосновано применение тёплого модифицированного асфальтобетона для устройства и ремонта дорожных покрытий в условиях Сирийской Арабской Республики.

Основные научные результаты и выводы сводятся к следующему:

1. Обоснована целесообразность применения теплого асфальтобетона, модифицированного методом ПДА, при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог в условиях Сирийской Арабской Республики. Определены регионы и разработана техническая карта применения ТМА, преимущественно в западных и восточных регионах Сирии с возможностью его применения в центральных регионах в зависимости от степени важности проекта.

2. Разработана модель эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях Сирии и доказано, что дорожная одежда с покрытием из ТМА с РТЭП-М удовлетворяет критериям сдвигоустойчивости и прочности для эксплуатации в восточных районах Сирии, которые по климатическим условиям являются наиболее сложными для использования ТАС в верхнем слое дорожной одежды.

3. Установлена эффективность метода ПДА для приготовления модифицированных ТАС при строительстве автомобильных дорог в Сирии. Введение модификатора РТЭП-М повышает предел прочности при сжатии МТА при температуре 50 °С на 22 % и при температуре 20 °С на 30 %, и не ухудшает его значение при низких температурах, что означает хорошую сдвигоустойчивость и трещиностойкость модифицированного теплого асфальтобетона. Применение метода полимерно-дисперсионного армирования позволяет использовать эффективную и ресурсосберегающую технологию производства ТАС и устройства дорожных покрытий в условиях Сирии.

4. Доказана долговечность ТМА при устройстве дорожных покрытий в жарком и сухом климате восточных регионов Сирии путем его климатического

старения и установлено повышение показателей предела прочности при сжатии при температурах 0, 20 и 50 °С, а также стабильность показателей физических свойств асфальтобетона. Установлена меньшая зависимость прочности ТМА от температуры что определяет низкую вероятность образования пластических дефектов на дорожных покрытиях в жарком и сухом климате восточных регионов Сирийской Арабской Республики со снижением коэффициента температурной чувствительности ТМА с 4,5 до 3,6 .

5. Установлена целесообразность применения ТМА во влажном и мягком теплом климате западных регионов Сирии. После процесса климатического старения установлена стабильность свойств ТМА, так как незначительно изменилась масса, уменьшился коэффициент температурной чувствительности по сравнению с контрольным составом и увеличился предел прочности на сжатие модифицированного асфальтобетона при температурах 20 и 50 °С.

6. Установлено, что ТМА с РТЭП-М характеризуется повышенной устойчивостью к колееобразованию, которая сопоставима с показателями горячего асфальтобетона, модифицированного РТЭП-М, что позволяет использовать ТАС для устройства дорожных конструкций автомобильных дорог в Сирийской Арабской Республике с интенсивными транспортными нагрузками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гезенцвей, Л.Б. Дорожный асфальтобетон /Л.Б. Гезенцвей, Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В. Королев. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. - 350 с.
2. Рыбьев, И.А. Асфальтовые бетоны / И.А. Рыбьев. М.: Высшая школа, 1969. – 396 с.
3. Королев, И.В. Дорожный теплый асфальтобетон / И.В. Королев, Е.Н. Агеева, В.А. Головкин, Г.Р. Фоменко. – Киев: Вища школа, 1984. – 200 с
4. ГОСТ 9128-84. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 9128-76; введ. 1986 – М.: Стандартиформ, 1985. – 28 с.
5. Колбановская, А.С. Дорожные битумы / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. М.: Транспорт, 1973. - 246 с.
6. Калгин, Ю. И. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов / Ю.И. Калгин. - Воронеж: изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2006. - 272 с.
7. Вейцмана, М.И. Дорожная терминология. Справочник /под. ред. М.И. Вейцмана. М.: Транспорт, 1985.- 310 с.
8. Васильев, А.П. Справочная энциклопедия дорожника. Том II. Ремонт и содержание автомобильных дорог [Электрон. ресурс] / А.П. Васильев. – М.: 2004.- URL: https://znaytovar.ru/gost/2/SpravochnikSpravochnaya_encikl3.html.
9. Руденский, А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия /А.В. Руденский. - М.:Транспорт.1992.-253 с.
10. Печеный, Б.Г. Оптимизация технологии приготовления асфальтобетонных смесей / Б.Г. Печеный, Е.А. Данильян // Дорожная техника, 2012. – С. 56-59.
11. Печеный, Б.Г. Влияние режимов приготовления асфальтобетонных смесей на свойства асфальтобетонов / Б.Г. Печеный, Е.А. Данильян, В.Д. Галдина // Строительные материалы. - 2009. №11. - С. 36-39

12. Горелышев, Н.В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы: учебное пособие/ Н. В. Горелышев. - Можайск-Терра, 1995 г. - 189с.

13. ГОСТ 9128-2009. дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия [Текст]. — Москва: Стандартинформ, 2010. -20с.

14. Зюрин, Б.К. Теплые асфальтобетонные смеси: особенности технологии и потенциальные направления развития / Б.К. Зюрин // В сборнике: Молодежь и научно-технический прогресс. Сборник докладов XIV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021.- С. 330-332.

15. Ядыкина, В.В. Теплый асфальтобетон - перспективный материал для дорожного строительства / В.В. Ядыкина, А.М. Гридчин, В.С. Холопов, В.Э. Василевский // В сборнике: Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. - 2015.- С. 775-779.

16. Калгин, Ю.И. Перспективные технологии строительства и ремонта дорожных покрытий с применением модифицированных битумов / Ю.И. Калгин, А.С. Строкин, Е.Б. Тюков. – Воронеж: ОАО Воронежская областная типография, 2014 г. – 224 с.

17. Алшахван, А. Обзор технологий приготовления тёплых асфальтобетонных смесей / А. Алшахван, Ю.И. Калгин // Молодой ученый. - 2019. - № 32 (270). - С. 102-107.

18. Холопов, В.С. Тёплый асфальтобетон - "зеленый" продукт для дорожного строительства / В.С. Холопов, Н.Г. Горшкова // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3 частях.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.- 2016.- С. 268-275.

19. Смирнов, Д.С. Анализ опыта применения теплых асфальтобетонных смесей / Д.С. Смирнов, В.Е. Броднева, А.С. Лобанова. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета.- 2019. - № 4 (50). - С. 455-461.

20. Гасанов, Т.Г. Перспективы применения теплового асфальтобетона на автомобильных дорогах республики Дагестан / Т.Г. Гасанов // В сборнике: Неделя науки-2017. сборник материалов XXXVIII итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов Дагестанского государственного технического университета. Под редакцией Т.А. Исмаилова. - 2017. - С. 525-527.

21. Liu, Q. A comparative study of the induction healing behaviors of hot and warm mix asphalt / Q. Liu, W. Yu, Sh. Wu, E. Schlangen, P. Pan // Construction and Building Materials. - 2017. - No. 144. - Pp. 663-670. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.195>).

22. Vatikus, A. Influence of warm mix asphalt technology on asphalt physical and mechanical properties / A. Vatikus, D. Čygas, A. Laurinavičius, V. Vorobjovas, Z. Perveneckas // Construction and Building Materials. - 2016. - No. 112. - Pp. 800-806. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.212>).

23. Rondón-Quintana, H. A review of warm mix asphalt technology: Technical, economical and environmental aspects / H. Rondón-Quintana, J. Hernández-Noguera, F. Reyes-Lizcano // Ingenieria e Investigacion. – 2015. - No. 35(3). - Pp. 5-18

24. Rubio, M. C. Warm mix asphalt: an overview / M. C. Rubio, G. Martines, L. Baena, F. Moreno // Journal of Cleaner Production. – 2012. – No. 24. – Pp. 76 -84.

25. D'Angelo, J. Warm-Mix Asphalt: European Practice. Report No. FHWA-PL-08-007. / J. D'Angelo, E. Harm, J. Bartoszek, G. Baumgardner, M. Corrigan, J. Cowser, T. Harman, M. Jamshidi, W. Jones, D. Newcomb, B. Prowell, R. Sines, B. Yeaton // American Trade Initiatives, Alexandria, USA. – 2008.

26. Xiao, F. Fatigue behavior of rubberized asphalt concrete mixtures containing warm asphalt mixtures / F. Xiao, P.E.W. Zhao, S.N. Amirkhanian // Construction and Building Materials. – 2009. – No. 23 (10). – Pp. 3144- 3151.

27. Vaitkus, A. Analysis and evaluation of possibilities for the use of warm mix asphalt in Lithuania / A. Vaitkus, A. Cygas, A. Laurinavicius, Z. Perveneckas // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – 2009. – No. 4 (2). – Pp. 80-86.

28. Jamshidi, A. Selection of Reclaimed Asphalt Pavement sources and contents for asphalt mix production based on asphalt binder rheological properties, fuel requirements and greenhouse gas emissions / A. Jamshidi, M.O. Hamzah, Z. Shahadan // Journal of Cleaner Production. - 2012. - No. 23 (1). – Pp. 20-27.

29. Bueche, N. Warm Asphalt Bituminous Mixtures with Regards to Energy. Emissions and Performance Young Researchers Seminar (YRS) LAVOC-CONF- 2010-002. - Torino, Italy.

30. Larsen, O.R. Warm Asphalt Mix with Foam – WAM Foam. IRF 2001 Partie B: Thèmes Techniques, S.00469. – 2001.- Kolo Veidekke, Norway.

31. Kristjansdottir O., 2006. Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving. PhD Thesis, University of Washington, Seattle, USA.

32. Al-Mohamad, R. Traffic (1) / R. Al-Mohamad // Directorate of University Books and Publications - Aleppo University (Syria). - 2001. -184 p.

33. Assi, M. Engineering of Pavement (Roads 2) / M. Assi // Directorate of University Books and Publications - Aleppo University (Syria). - 2003. -333 p.

34. Ministry of Transportation. General technical conditions and specifications for road and bridge works // The Syrian Arab Republic. - 2012. - Part IV, Chapter V. - Pp. 230-248.

35. Al-Halabi, A. Transportation Engineering (Engineering Design of Roads) / A. Al-Halabi // Directorate of University Books and Publications - Aleppo University (Syria). - 1995. – P. 215.

36. Комаров Ю. Я., Алшахван А. Улучшение условий дорожного движения на перекрестке Отеля Пульмана в г. Алеппо (САР) // Молодой ученый. 2018. № 20. С. 148-152.

37. Ministry of Transport. Strategy of the Ministry of Transport in the Syrian Arab Republic (2000-2020) // Ministry of Transport. – Syria. - 2005.

38. Ministry of Local Administration. Municipal administration modernization project, a vision for planning and managing transportation and traffic in Syrian cities (Damascus - Aleppo - Homs - Lattakia - Tartous - Deir ez-Zor) // Ministry of Local Administration. – 2008.

39. Central Bureau of Statistics. Annual Statistical Collection // Central Bureau of Statistics. - Sixty-fourth Edition. – 2011.

40. Алшахван А. Совершенствование организации дорожного движения в г. Алеппо (САР) в районе Мухафаза. Дис....магистратура. Волгоград. 2018. 103 с.

41. Комаров Ю.Я., Алшахван А. Влияние диаметра кольцевого пересечения Омар Абу Риша в г. Алеппо (САР) на параметры транспортного потока // Молодой ученый. 2018. № 14. С. 26-30.

42. Комаров Ю.Я., Алшахван А. Изучение влияния светофоров на ситуацию дорожного движения на перекрестке у Российского консульства в г. Алеппо (САР) // Молодой ученый. - 2018. - №18. - С. 71-75.

43. The General Corporation for Road Transport. The traffic map and the traffic statistics report for the permanent stations on the central roads // the Traffic Engineering Directorate and the GIS project. – 2010.

44. DW Academy. World Bank Report: War Syrian Losses. URL: <https://p.dw.com/p/2gIS7> (date of treatment: 23.10.2019).

45. Sputnik-Arabic. [Электронный ресурс]. URL: <https://cdnarabic1.img.sputniknews.com/images/102279/49/1022794984.jpg> (дата обращения: 01.05.2018).

46. Al-Nabaa news. [Электронный ресурс]. URL: <https://annabaa.org/aarticles/fileM/23/5bc3ec4022010.jpg> (дата обращения: 15.10.2018).

47. Enab Baladi news. [Электронный ресурс]. URL: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/enabbaladi/arabic/wp-content/uploads/2019/09/syria6.jpg> (дата обращения: 08.09.2019).

48. Center Al-Furat news. [Электронный ресурс]. URL: <http://fcds.com/storegefiles/5bc335811f65c.jpg> (дата обращения: 14.10.2018).

49. Алшахван, А. Актуальность применения теплых асфальтобетонных смесей для дорожного строительства в условиях Сирийской Арабской Республики / А. Алшахван, Ю.И. Калгин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2020. - № 2. - С. 26–33.

50. Радовский, Б.С. Технология нового асфальтобетона в США / Б.С. Радовский // Дорожная техника. - 2008. - № 19. - С. 24-28.

51. EAPA. (2013). Asphalt in figures. Brussels: European Asphalt Pavement Association. <http://www.eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/Asphalt%20in%20figures%2022-11-2013.pdf>.

52. Hansen, K.R. Annual asphalt pavement industry survey on recycled materials and warm-mix asphalt usage: 2009–2012. / K.R. Hansen, A. Copeland // National Center for Asphalt Technology. Information series 138. – 2013. - Lanham, MD.

53. Diefenderfer, S.D. Performance of Virginia’s warm-mix asphalt trial sections / S.D. Diefenderfer, A.J. Hearon // FHWA/VTRC 10-R17. – Charlottesville. - 2010. - VA.

54. EAPA. The use of warm mix asphalt. Brussels: European Asphalt Pavement Association—position paper. – 2010.

55. FHWA. Warm mix asphalt FAQs. – 2012. <http://www.fhwa.dot.gov/everydaycounts/technology/asphalt/faqs.cfm#tab2>. Cited 3 Oct 2013.

56. Zaumanis, M. Analysis of possibilities for use of warm mix asphalt in Latvia / M. Zaumanis, J. Smirnovs // In: Proceedings of Civil Engineering. International Scientific Conference. - Jelgava, Latvia. – 2011. - Pp. 57–64.

57. Chowdhury. A Review of Warm Mix Asphalt. Texas Transportation Institute. Springfield / Chowdhury, Arif and Button, Joe // Virginia: National Technical Information Service. - 2008. - Technical report.

58. Lee, R.A. Summary of Texas' Experience with Warm Mix Asphalt / R. Lee, L. A. Shreveport // Presentation at Louisiana Warm-Mix Demonstration. – 2008.

59. Zaumanis, M. Warm mix asphalt investigation. Master of Science thesis. Kgs. Lyngby. Technical University of Denmark in cooperation with the Danish Road Institute. – 2010.
60. Capitaó, S.D. Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt / S.D. Capitaó, L. G. Picado-Santos, F. Matinho // Construction and Building Materials. - 2012. – No. (36). – Pp. 1016 - 1024.
61. Perkins, S. Synthesis of warm mix asphalt paving strategies for use in Montana highway construction / S. Perkins // Montana: the state of Montana. - department of transportation. - 2009. final report.
62. Institute, Asphalt. Asphalt handbook MS-4 7th edition. USA: Asphalt Institute. - 2007. - Pp. 765-767.
63. Drüschner, L. Experience with Warm Mix Asphalt in Germany / L. Drüschner // Sønderborg: NVF-rapporter. - 2009. - guest report in conference.
64. Mogawer, W. S. Laboratory and field evaluation of warm mix asphalt technology / W. S. Mogawer, A. J. Austerman // International Symposium on Asphalt Pavements and Environment. - Zurich, Switzerland. – 2008. - Pp. 173 - 184.
65. West, et al. Properties and performance of warm mix asphalt technologies: Draft // National Center for Asphalt Technology-Auburn University. NCHRP Project. – 2014. – Pp. 9 – 47.
66. Jamshidi, A. Performance of Warm Mix Asphalt containing Sasobit®: State-of-the-art / A. Jamshidi, M. O. Hamza, Z. You // Construction and Building Materials. - 2013. - No. 38. - Pp. 530 –553.
67. Zhao, G. Workability of Sasobit Warm Mixture Asphalt / G. Zhao // International Conference on Future Energy, Environment, and Materials. – 2012. – No.16. - Pp. 1230 – 1236.
68. Omari I. Investigation of two Warm Mix Asphalt additives / I. Omari, V. Aggarwal, S. Hesp // International Journal of Pavement Research and Technology. - 2016. - No. 9. - Pp. 83-88.

69. Damm, Klaus-Werner, et al. Asphalt Flow Improvers As 'Intelligent Fillers' For Hot Asphalts - A New Chapter In Asphalt Technology // Hamburg : Sasol Wax GmbH. - 2003. Sasobit product informations.

70. Hurley, G.C. Evaluation of Evotherm® for Use in Warm Mix Asphalt / G.C. Hurley, B.D. Browell // National Center for Asphalt Technology (NCAT). NCAT Report 06-02– 2006. – P. 49.

71. Jones, D. Warm-Mix Asphalt Study: Test Track Construction and First-Level Analysis of Phase1 HVS and Laboratory Testing // California: California Department of Transportation. - 2008. Research Report.

72. Sargand, S. et al. Performance Assessment of Warm Mix Asphalt (WMA) Pavements // Ohio: Ohio Department of Transportation. - 2009. Technical report.

73. Prowell. Warm-Mix Asphalt: Best Practies, presentation / Prowell, Brian and Hurley, Graham // Lanham, Maryland : National Asphalt Pavement Association. - 2007.

74. Комар А.Г. строительные материалы и изделия / А. Г. Комар // М: Высшая школа . - 1983. - 487 с.

75. Гордеев С.О. Деформации и повреждения дорожных асфальтобетонных покрытий / С.О. Гордеев // М. – 1963. – 132 с.

76. Khalaf, G.A. Material Characterization of Polymer Modified Asphalt Mixtures / G.A. Khalaf // Cairo University. Giza, Egypt. - 2000. - P. 246.

77. Bernard, B. Polymer-Modified Asphalt Cements Used in the Road Construction Industry: Basic Principles / Bernard B. // Transportation Research Record. – 1996. - No.1535.

78. Carpenter, S.H. Laboratory Performance Comparisons of Polymer-Modified and Unmodified Asphalt Concrete Mixtures / S.H. Carpenter, Vandam T. // Transportation. – 1987. - Research Record 1115.

79. Xicheng, QI. Evaluation of Polymer-Modified Asphalt Concrete Mixtures / QI. Xicheng, P.E. Sebaaly, J.A. Epps // Journal of Materials in Civil Engineering, V7. – 1995. - No.2. – Pp. 72 – 85.

80. Kattak, M.J. Engineering Properties of Polymer-Modified Asphalt Mixtures / M.J. Kattak, G.Y. Baladi // Transportation Research Record. – 1998. - No. 1638.

81. Руденский, А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия на модифицированных битумах / А. В. Руденский., Ю.И. Калгин // Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. Воронеж. - 2009 - 143 с.

82. Takallou, H.B. Development of Improved Mix and Construction Guidelines for Rubber-Modified Asphalt Pavements / H.B. Takallou, R.G. Hicks // Transportation Research Record 1171. - 1998.

83. Roland, L.T. Modified Asphalt Pavement Materials the European Experience / L.T. Roland, L.W. Jean // AAPT. – 1986. - No. 55. - Pp. 102 – 115.

84. Соломенцев, А.Б. Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битума // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2008. - No. 1. - С. 14-16.

85. Zhang, Z.-q. Influence of different warm-mixed agent on asphalt mixture / Z.-q. Zhang, S. Liang-liang, C. Fei, // Journal of Wuhan University of Technology. vol. 36. – 2014. - No. 3. - Pp. 53–58.

86. Juan Zhao, G. Influence of different warm-mixed agent on asphalt performance / G. Juan Zhao, P. Guo // Journal of Guangxi University (Natural Science Edition). vol. 38. – 2013. - No. 1. - Pp. 67–74.

87. Olar, et al. Low energy asphalt LEA: new half-warm mix asphalt for minimizing impacts from asphalt plant to job site // Zurich : International society for asphalt pavements. - Asphalt Pavements and Environment. – 2008. - Pp. 207-230.

88. Walaa, S. Laboratory and Field Evaluation of Warm Mix Asphalt Technology / S. Walaa, P.E. Mogawer // Zurich : International society for asphalt pavements. ISAP International Symposium on Asphalt Pavements and Environment. – 2008. - Pp. 173-184.

89. Hurley, G.C. Evaluation of Sasobit for use in warm mix asphalt / G.C. Hurley, B.D. Browell // Auburn : National Center for Asphalt Technology. - 2005. - Report 05-06.

90. Kristjansdottir, O. Warm Mix Asphalt Technology Adoption / O. Kristjansdottir // Trondheim : s.n. - 2007. - NVF 33 Annual Meeting.

91. Jiantong, Z. Characterization of Warm Mix Agent and Its Influence on Properties of SBS-Modified Asphalt / Z. Jiantong, L. Kai // Hindawi: Advances in Materials Science and Engineering. – 2019. – No. 1. - Pp. 1 – 7.

92. Qiang, L. Effects of warm-mix asphalt technologies and modifiers on pavement performance of recycled asphalt binders / L. Qiang, S. Guangxu, L. Yang, M. Yuanpeng, L. Sang, G. Lei // Journal of Cleaner Production. – 2021.- vol. 282.

93. Behnood, A. Coupled effects of warm mix asphalt (WMA) additives and rheological modifiers on the properties of asphalt binders / A. Behnood, M. M. Karimi, G. Cheraghian // Cleaner Engineering and Technology. – 2020.- vol. 1.

94. Awazhar, N.A. Engineering and leaching properties of asphalt binders modified with polyurethane and Cecabase additives for warm-mix asphalt application / N.A. Awazhar, F.H. Khairuddin, S. Rahmad, S.M. Fadzil, H.A. Omar, N.I. Yusoff, K.H. Badri // Construction and Building Materials. – 2020.- vol. 238.

95. Sukhija, M. Effect of warm mix asphalt (WMA) technologies on the moisture resistance of asphalt mixtures / M. Sukhija, N. Saboo, A. Pani // Construction and Building Materials. – 2023.- vol. 369.

96. Алшахван, А. Обоснование способа модификации тёплого асфальтобетона для условий Сирийской Арабской Республики / А. Алшахван, Ю. И. Калгин // Высокие технологии в строительном комплексе. - 2021. - № 1. - С. 21-25.

97. Калгин, Ю.И. Структурно-механические свойства модифицированного горячего и теплого дорожного асфальтобетона / Ю.И. Калгин, А. Алшахван, Н.И. Паневин // Научный журнал строительства и архитектуры. - 2022. - № 3 (67). - С. 124-129.

98. Шухов, В.И. Исследование причин колееобразования на городской улице / В. И. Шухов, Н.Г. Горшкова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. - № 1. - С. 65-67.

99. Подольский, Вл. П. Причины колееобразования на асфальтобетонных покрытиях и методы повышения их деформативной устойчивости в условиях южного Вьетнама / Вл. П. Подольский, В.Л. Нгуен, Д.И. Черноусов // Научный

вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2013. - № 1 (29). - С. 57-65.

100. Кошкаров, М.А. Влияние полимерно-дисперсного армирования асфальтобетона на общий модуль упругости и свойства дорожных одежд (на примере кма "руббермастик"® пг) / М.А. Кошкаров, А.Ю. Дедюхин, Э.Р. Ахтямов // Мир дорог. - 2021. - № 141. - С. 134-136.

101. Чернов, С.А. Влияние полимерно-дисперсно-армирующей добавки на эксплуатационные свойства асфальтобетона / С.А. Чернов, А.В. Каклюгин, А.Н. Никитина, К.Д. // Голубин Вестник МГСУ. - 2017. - Т. 12. - № 6 (105). - С. 654-660.

102. Соломенцев, А.Б. Реологическая чувствительность дорожного битума к полимерным добавкам и допустимые технологические температуры асфальтобетонных смесей / А.Б. Соломенцев, С.Л. Ревякин, Д.А. Оноприйчук // Строительные материалы и технологии. - №6 (74). – 2017. - С. 129-140.

103. Соломенцев, А.Б. Свойства асфальтовяжущего с добавками VIATOR 66 и РТЭП / А.Б. Соломенцев// Наука и техника в дорожной отрасли. - 2009. - № 4 (51). - С. 20-21.

104. Чернов, С.А. Полимерно-дисперсное армирование / С.А. Чернов, К.Д. Голубин // Мир дорог. - 2017. - № 101. - С. 69-72.

105. Сараев, Д.С. Исследование процессов старения асфальтовяжущего, модифицированного резиновым термоэластопластом (РТЭП) и резиновой крошкой / Д.С. Сараев // Известия Ростовского государственного строительного университета. - 2013. - Т.1. - № 17 (17). - С. 152.

106. Илиополов, С.К. Модифицированная вибролитая асфальтобетонная смесь с повышенной устойчивостью к термоокислительному старению / С.К. Илиополов, Е.В. Леконцев, С.А. Чернов, А.В. Каклюгин // Строительство и реконструкция. – 2014. - - № 4 (54). - С. 53-59.

107. Мардиросова, И.В. Асфальтовое вяжущее для вибролитых асфальтобетонных смесей с повышенной стойкостью к процессам старения / И.В. Мардиросова, Е.В. Леконцев, Каклюгин А.В. // Вестник Белгородского

государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. - № 6. - С. 39-42.

108. Доля, А.Г. Щебеночно-мастичные асфальтобетоны, модифицированные резиновым термоэластопластом / А.Г. Доля, А.А. Стукалов, Д.Э. Жердев // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. - 2020. - № 1 (141). - С. 156-161.

109. Хижняк, Ю. В. Влияние полимерно-дисперсной добавки РТЭП на водо-, трещино-, сдвигоустойчивость щебеночно-мастичного асфальтобетона / Ю.В. Хижняк, Р.Р. Шахмуратьян, А.С. Какишев // Строительство - 2015: Строительство. Дороги. Транспорт : материалы Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону. - 2015. - Том 3. – С. 52-54.

110. Чернов, С.А. Влияние полимерно-дисперсно-армирующей добавки на эксплуатационные свойства асфальтобетона / С. А.Чернов, А. В. Каклюгин, А. Н. Никитина, К. Д. Голубин // Вестник МГСУ. - 2017. - С.654-660.

111. Патент РФ № 2007113596/04, 11.04.2007. Битумно-резиновая композиция и способ ее получения // Патент России № 2327719 С1, кл. С08L95/00. Бюл. № 18. / Алексеенко В.В., Кижняев В.Н., Верещагин Л.И., и др.

112. Патент РФ № 2164927 С2, 10.04.2001. Битумно-резиновая композиция и способ ее получения // Патент России № 2164927 С2, кл. С08L 95/00. Бюл. № 12. / Розенберг Б.А., Эстрин Я.И., Эстрина Г.А.

113. Патент РФ № 2008108614/03, 04.03.2008. Асфальтобетонная смесь // Патент России № 2162475 С2, кл. С04В26/26. Бюл. № 8. / Алексеенко В.В., Кижняев В.Н., Житов Р.Г., Митюгин А.В.

114. Патент РФ № 2012125141/05, 18.06.2012. Битумно-резиновая композиция связующего для дорожного покрытия и способ ее получения // Патент России № 2509787 С2, кл. С08L 95/00. Бюл. № 8. / ДЖОНСТОН Майкл Роберт Энтони.

115. Патент РФ № 2010149038/05 , 10.08.2012. Модифицирующая композиция, способ ее получения и применение ее в асфальтобетонных дорожных покрытиях в различных климатических зонах // Патент России № 2458083 С1, кл.

C08L017/00. Бюл. № 8. / Горелик Р.А., Искрина Ю.А., Балыбердин В.Н., Слепая Б.М., Азиков Ю.В.

116. Statistical Book. Syrian Arab Republic, Presidency of the Council of Ministers - Central Bureau of Statistics. Syria: Damascus, 2021. 306 p.

117. Climatic Environment in Syria. Syrian Arab Republic, Ministry of Defense - General Directorate of Meteorology. URL: <http://mod.gov.sy/index.php?node=556&cat=7936&#>.

118. Simulated historical climate & weather data for Syria. URL: https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/damascus_syria_170654.

119. World Weather Archive and Climate - Weather in Syria. URL: <https://world-weather.info/>.

120. Temperature statistics in different regions of the Syrian Arab Republic in previous years - The General Directorate of Meteorology in the Syrian Arab Republic. URL: <https://www.facebook.com/Meteo.sy/>.

121. Алшахван А. Обоснование дорожных конструкций с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона автомобильных дорог в условиях Сирийской Арабской Республики / А. Алшахван, Ю.И. Калгин // Строительная механика и конструкции. - 2023. №. 3 (38).

122. КРЕДО РАДОН RU 3.5. Расчет дорожных одежд нежесткого и жесткого типов. Руководство пользователь. – Минск: СП «Кредо-Диалог», 2015. – 94с.

123. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2015. — 12с.

124. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия [Текст] / Госстандарт СССР. – М., 1996.

125. ГОСТ Р 55419-2013. Материал композиционный на основе активного резинового порошка, модифицирующий асфальтобетонные смеси. Технические требования и методы испытаний [Текст] .- Москва: Госстрой, 2013. - 19с.

126. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. — Минск: Госстрой, 1993. — 21с.

127. ГОСТ 32703-2014. Дороги автомобильные общего пользования щебень и гравий из горных пород. Технические требования.— Москва: Стандартинформ, 2015. — 19с.

128. ГОСТ 3344-83. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2007. — 13с.

129. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2013. — 55с.

130. ГОСТ Р 58401.1-2019. Дороги автомобильные общего пользования смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. система объемнофункционального проектирования. Технические требования [Текст] .- Москва: Госстрой, 2019. - 14с.

131. ГОСТ Р 58406.2-2020. Дороги автомобильные общего пользования смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические требования [Текст] .- Москва: Госстрой, 2020. - 29с.

132. ГОСТ 31424-2010. Материалы строительные нерудные от отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2011. — 11с.

133. ГОСТ 32730-2014. Дороги автомобильные общего пользования песок дробленный. Технические требования.— Москва: Стандартинформ, 2016. — 12с.

134. ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические требования.— Москва: Госстрой России, 2003. — 38с.

135. ГОСТ 32761-2014. Дороги автомобильные общего пользования порошок минеральный. Технические требования.— Москва: Стандартинформ, 2014. — 15с.

136. ГОСТ 33136-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения глубины проникания иглы. — Москва: Стандартинформ, 2015. — 8с.

137. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний [Текст]. — Москва: Стандартинформ, 1998. -47с.

138. ГОСТ Р 58406.9. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов уплотнителем Маршалла, 2019. — 11с.

139. ГОСТ 33029. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение гранулометрического состава, 2014. — 8с.

140. ГОСТ Р 58401.16. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы определения максимальной плотности, 2019. — 13с.

141. ГОСТ Р 58401.10. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы определения объемной плотности, 2019. — 13с.

142. ГОСТ Р 58401.8. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения содержания воздушных пустот, 2019. — 7с.

143. ГОСТ Р 58406.3. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса, 2020. — 12с.

144. ПНСТ 542 - 2021. Дороги автомобильные общего пользования - Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования, 2021. — 151с.

**Расчет дорожных конструкций с покрытием из теплого модифицированного
асфальтобетона нежесткого типа по методике ПНСТ 542-2021**

Наименование дороги	Восточный регион в Сирийской Арабской Республике
Особенность расчета	Перегон
Имя варианта расчета	Теплый модифицированный асфальтобетон

1. Климатические характеристики

Дорожно-климатическая зона	5
Схема увлажнения рабочего слоя	1
Регион	Южный
Рельеф района	Равнинный
Количество расчетных дней в году, дней	355
Номер изолинии границы термического сопротивления дорожной одежды	I
Глубина промерзания грунта, см	20 (по данным измерений)
Среднегодовая температура, градусы	30.0

2. Данные о дороге

Общие данные	
Категория дороги	III
Количество полос движения	2
Номер расчетной полосы	1
Тип конструкции дорожной одежды	Капитальный

Срок службы покрытия, лет	15
Межремонтный срок покрытия, лет	7
Коэффициент надежности	0.92
Профиль	
Поперечный профиль дороги	Двускатный
Ширина полосы движения, м	3.50
Ширина обочины, м	2.50
Ширина укрепленной части обочины, м	0.50
Заложение откоса, 1:m	1 : 4
Вогнутость продольного профиля	Не учитывается
Высота насыпи, м	1.50
Грунт	
Грунт рабочего слоя	Супесь легкая крупная
Коэффициент уплотнения	0.98
Расчетная влажность грунта, доли ед.	Вычислена по методике: 0.596
Частичная замена грунта	Не предусмотрена
Источник увлажнения	
Источник увлажнения	Отсутствует
Особенности	
Конструктивные мероприятия, снижающие влажность и/или влияющие на расчет дренарующего слоя	Не предусмотрены

Определение расчетной влажности грунта рабочего слоя.

$$W_p = (\overline{W}_{таб} + D + D_1 \overline{W} - D_2 \overline{W}) * (1 + 0.1t) - D_3 = (0.52 + 0.000 + 0.000 - 0.000) * (1 + 0.1 * 1.48) - 0.001 = 0.596$$

3. Состав автомобильного потока

Состав движения	Известен
Коэффициент роста интенсивности, доли ед.	1.030
Состав потока задан	В автомобилях

Рост интенсивности	Общий для потока
Интенсивность движения на первый год службы, ед./сут.	3042
Интенсивность движения на расчетный год службы, ед./сут.	4599
Расчетное суточное число приложений на полосу приведенной нагрузки на последний год службы, ед./сут.	538.26
Суммарное расчетное число приложений на полосу за весь срок службы, ед.	2335479
Требуемый модуль упругости, МПа	326

Состав и характеристики автомобилей в транспортном потоке

Марка автомобиля	Кол-во, авт.	Кэф. груз.	Кэф. пробега	Рост инт., доли ед.	Кэф. привед.
Легковые автомобили, небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	2720	1.0	1.0	1.030	0.002
01. Двухосные грузовые автомобили	145	1.0	1.0	1.030	1.510
02. Трехосные грузовые автомобили	94	1.0	1.0	1.030	2.330
07. Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	52	1.0	1.0	1.030	3.250
Автобусы	31	1.0	1.0	1.030	1.160

Вычисляем приведенную интенсивность к расчетной нагрузке на первый год службы:

$$2720 \cdot 0.002 + 145 \cdot 1.510 + 94 \cdot 2.330 + 52 \cdot 3.250 + 31 \cdot 1.160 = 647.01 \text{ ед./сут.}$$

Вычисляем приведенную интенсивность к расчетной нагрузке на последний год службы с учетом коэффициента полосности:

$$N_p = f_{\text{пол}} * N_0 * q_{\text{Тсл}} - 1 = 0.55 * 647.01 * 1.030^{15-1} = 538.26 \text{ ед./сут.}$$

Вычисляем суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки:
 $= 2335479 \text{ ед.}$

Вычисляем минимальный требуемый модуль упругости:
 $= 325.75 \text{ МПа}$

4. Расчетная нагрузка по ПНСТ 542-2021

Нагрузка определяется	по ПНСТ 542-2021
Расчетная нагрузка	Задана пользователем
Вид расчетной нагрузки	Динамическая
Тип колеса	Двухбаллонное
Нормативная статическая нагрузка на ось, Q _{расч.ось кН}	113.00
Давление в шинах p, МПа	0.66
Диаметр круга определяют	по формуле ПНСТ 542-2021
Диаметр штампа D, см	37.64

Расчет динамической нагрузки:

$$Q_{\text{драсч.ось}} = Q_{\text{расч.ось}} * K_D = 113.00 * 1.3 = 146.90 \text{ кН}$$

Расчет диаметра штампа:

$$D = 37.64 \text{ см}$$

	мелким щебнем																
4	Щебеночная смесь непрерывной гранулометрии для оснований при максимальном размере зерен С5 - 40 мм	15.0	50.0	260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
5	Песок гравелистый с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	20.0	20.0	130	-	-	-	-	-	-	2.00	0.003	0.005	28.0	34.0	2000	
6	Супесь легкая крупная	-	-	65	-	-	-	-	-	0.596	2.00	0.005	0.014	12.0	36.0	2100	

6. Расчет конструкции дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу

1) Расчет выполняется для слоя Песок гравелистый с содержанием пылевато-глинистой фракции 5% ГОСТ 32824-2014

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.50; X_2 = 0.53; 0.670; E_{2общ} = 0.670 * 130.00 = 87.07 \text{ МПа};$$

2) Расчет выполняется для слоя Щебеночная смесь непрерывной гранулометрии для оснований при максимальном размере зерен С5 - 40 мм ГОСТ 25607-2009

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.33; X_2 = 0.98; 0.648; E_{3общ} = 0.648 * 260.00 = 168.42 \text{ МПа};$$

3) Расчет выполняется для слоя Щебень легкоуплотняемый фракции 31,5-63 мм по ГОСТ 32703-2014 мм с заклиной фракционным мелким щебнем

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.37; X_2 = 0.53; 0.561; E_{4общ} = 0.561 * 450.00 = 252.31 \text{ МПа};$$

4) Расчет выполняется для слоя Асфальтобетон, модифицированный РТЭП-М пористый теплый на битуме БНД марки 200/300, Крупнозернистый, Марка II

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.13; X_2 = 0.19; 0.161; E_{5общ} = 0.161 * 2000.00 = 322.83 \text{ МПа};$$

5) Расчет выполняется для слоя Асфальтобетон, модифицированный РТЭП-М плотный теплый на битуме БНД марки 200/300, Тип Б, Марка II

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.11; X_2 = 0.13; 0.132; E_{6общ} = 0.132 * 2900.00 = 381.93 \text{ МПа};$$

Коэффициент прочности = 1.1725

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр;пр} = 1.17$

$1.1725 > 1.17$ - условие выполнено

Запас прочности = +0%

7. Расчет по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев

1) Расчет выполняется для слоя Супесь легкая крупная

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляются как средневзвешенный:
298.25 МПа

По отношениям: $X_1 = 4.59$ и $X_2 = 2.36$

с помощью номограммы находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:

$$\bar{t}_n = 0.0156 \text{ МПа}$$

Действующие активные напряжения сдвига:

$$T = \bar{t}_n * p = 0.0156 * 0.66 = 0.01028 \text{ МПа}$$

Предельное активное напряжение сдвига:

$$T_{np} = k_{\partial} * (C_N + 0.001 * g_{cp} * z_{on} * tg(j_{cm})) = 2.00 * (0.005 + 0.001 * 20.0112 * 0.89 * tg(36.0)) = 0.03588 \text{ МПа}$$

$$\gamma = 20.0112 \text{ кН/м}^3$$

$$K = 3.4913$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{np}; np = 1.00$

$3.4913 > 1.00$ - условие выполнено

Запас прочности = +249%

2) Расчет выполняется для слоя Песок гравелистый с содержанием пылевато-глинистой фракции 5% ГОСТ 32824-2014

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляются как средневзвешенный:
347.01 МПа

По отношениям: $X_1 = 3.99$ и $X_2 = 1.83$

с помощью номограммы находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:

$$\bar{t}_n = 0.0209 \text{ МПа}$$

Действующие активные напряжения сдвига:

$$T = \bar{t}_n * p = 0.0209 * 0.66 = 0.01377 \text{ МПа}$$

Предельное активное напряжение сдвига:

$$T_{np} = k_{\partial} * (C_N + 0.001 * g_{cp} * z_{on} * tg(j_{cm})) = 2.00 * (0.003 + 0.001 * 20.0145 * 0.69 * tg(34.0)) = 0.02463 \text{ МПа}$$

$$\gamma = 20.0145 \text{ кН/м}^3$$

$$K = 1.7890$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр}; n_p = 1.00$

$1.7890 > 1.00$ - условие выполнено

Запас прочности = +78%

8. Расчет конструкции дорожной одежды на сопротивление монолитных слоев

усталостному разрушению от растяжения при изгибе

1) Расчет на изгиб выполняется для слоя Асфальтобетон, модифицированный РТЭП-М пористый теплый на битуме БНД марки 200/300, Крупнозернистый, Марка II

Средневзвешенный модуль упругости слоев:

$$= 2983.33 \text{ МПа}$$

По отношениям: $X_1 = 11.824$ и $X_2 = 0.32$

По номограмме определяем: $\bar{s}_r = 2.363 \text{ МПа}$

Расчетное растягивающее напряжение:

$$s_r = \bar{s}_r * p * k_B = 2.363 * 0.66 * 0.85 = 1.326 \text{ МПа}$$

Вычисляем предельное растягивающее напряжение:

$$R_N = R_0 * k_1 * k_2 * (1 - V_R * t) = 8.00 * 0.2346 * 0.85 * (1 - 0.1 * 1.48) = 1.360$$

МПа

Коэффициент, отражающий влияние на прочность усталостных процессов, $k_1 := 0.2346$

$$K = 1.0254$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр}; n_p = 1.00$

$1.0254 > 1.00$ - условие выполнено

Запас прочности = +2%

9. Исходные данные и результаты проверки расчета на морозоустойчивость

Грунт рабочего слоя	Супесь легкая крупная
Степень пучинистости	Слабопучинистый
Допустимая величина морозного пучения, см	3.20
Коэффициент, учитывающий влияние глубины залегания УГВ	0.4300
Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта	1.00
Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава	1.00
Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса	1.6000
Коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта	1.0000

Предварительная проверка конструкции на морозоустойчивость.

Величина допустимого значения морозного пучения снижается на 20%, так как принятый срок службы дорожной одежды (Тсл) более 10 лет:

$$l_{доп} = l_{доп} * 0.8 = 4.00 * 0.8 = 3.20 \text{ см}$$

Определяем глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$:

$$z_{пр} = z_{пр.ср} = 20 \text{ см}$$

Определяем величину морозного пучения при осредненных условиях:

Значения коэффициентов для расчета $l_{пуч.ср}$:

По номограмме определяют коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины

$$\text{залегания грунтовых вод } K_{угв} = 0.4300$$

По таблице определяют коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта

$$\text{рабочего слоя } K_{пл} = 1.00$$

По таблице определяют коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического

$$\text{состава грунта основания насыпи } K_{гр} = 1.00$$

По номограмме определяем коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от

собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое

$$K_{нагр} = 1.6000$$

По таблице определяют коэффициент, зависящий от расчетной влажности

$$K_{вл} = 1.0000$$

$$h = 4.65 \text{ см}$$

По номограмме определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{до.тр.} = 7 \text{ см}$

Фактическая толщина дорожной одежды $h_{до} = 89.00 \text{ см}$

$h_{до} > h_{до.тр.}$

Морозостойчивость дорожной одежды обеспечена.

Прочностные характеристики конструкции дорожной одежды

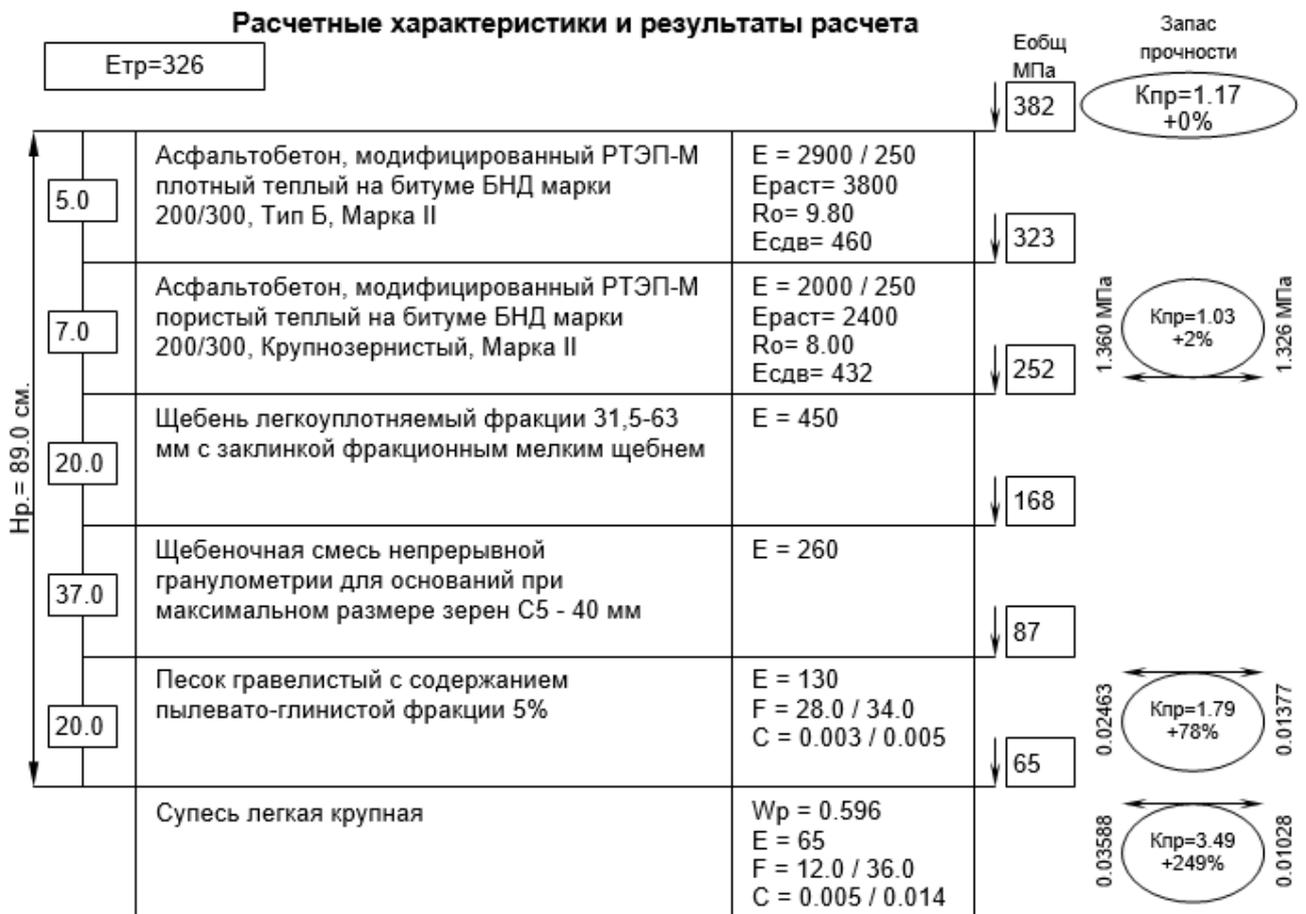
№ слоя	Наименование материала слоя	Расчетная толщина слоя, см	Общий модуль упругости по слоям, Еобщ, МПа	Показатель прочности:			Предельное активное напряжение сдвига в слое, Тпр, МПа	Расчетное активное напряжение сдвига, Т, МПа	Предельное растягивающее напряжение при изгибе, Rn, МПа	Расчетное растягивающее напряжение в слое, Gr, МПа	Расчетная влажность грунта, Wp, доли ед.
				критерий	расчетное значение коэф.	величина, запас (+/-), %					
1	Асфальтобетон, модифицированный РТЭП-М плотный теплый на битуме БНД марки 200/300, Тип Б, Марка II	5.0	382	Упругий прогиб	1.17	+0%	-	-	-	-	-
2	Асфальтобетон, модифицированный РТЭП-М пористый теплый на битуме БНД марки 200/300, Крупнозернистый, Марка II	7.0	323	Растяжение	1.03	+2%	-	-	1.360	1.326	-
3	Щебень легкоуплотняемый фракции 31,5-63 мм с заклиной фракционным мелким щебнем	20.0	252	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Щебеночная смесь непрерывной гранулометрии для оснований при максимальном размере зерен С5 - 40 мм	37.0	168	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Песок гравелистый с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	20.0	87	Сдвиг	1.79	+78%	0.02463	0.01377	-	-	-
6	Супесь легкая крупная	-	65	Сдвиг	3.49	+249%	0.03588	0.01028	-	-	0.596
Суммарная толщина конструкции:		89.0	Итоговая стоимость конструкции:								

10. Прогноз колееобразования, мм

Год эксплуатации	<30 %	30-40 %	41-50 %	51-60 %	61-70 %	71-80 %	>80 %
5	10.26	10.46	11.04	11.23	11.64	12.05	13.23
10	15.10	15.44	16.42	16.69	17.25	17.72	19.46
15	19.01	19.55	20.78	21.09	21.69	22.29	24.07

11. Информация

* Расчет выполнен. Замечаний нет.



E, C, R - МПа; F - град.

**Расчет дорожных конструкций с покрытием из теплого
немодифицированного асфальтобетона нежесткого типа по методике ПНСТ
542-2021**

Наименование дороги	Восточный регион в Сирийской Арабской Республике
Особенность расчета	Перегон
Имя варианта расчета	Теплый немодифицированный асфальтобетон

1. Климатические характеристики

Дорожно-климатическая зона	5
Схема увлажнения рабочего слоя	1
Регион	Южный
Рельеф района	Равнинный
Количество расчетных дней в году, дней	355
Номер изолинии границы термического сопротивления дорожной одежды	I
Глубина промерзания грунта, см	20 (по данным измерений)
Среднегодовая температура, градусы	30.0

2. Данные о дороге

Общие данные	
Категория дороги	III
Количество полос движения	2
Номер расчетной полосы	1
Тип конструкции дорожной одежды	Капитальный
Срок службы покрытия, лет	15
Межремонтный срок покрытия, лет	7

Коэффициент надежности	0.92
Профиль	
Поперечный профиль дороги	Двускатный
Ширина полосы движения, м	3.50
Ширина обочины, м	2.50
Ширина укрепленной части обочины, м	0.50
Заложение откоса, 1:m	1 : 4
Вогнутость продольного профиля	Не учитывается
Высота насыпи, м	1.50
Грунт	
Грунт рабочего слоя	Супесь легкая крупная
Коэффициент уплотнения	0.98
Расчетная влажность грунта, доли ед.	Вычислена по методике: 0.595
Частичная замена грунта	Не предусмотрена
Источник увлажнения	
Источник увлажнения	Отсутствует
Особенности	
Конструктивные мероприятия, снижающие влажность и/или влияющие на расчет дренирующего слоя	Не предусмотрены

Определение расчетной влажности грунта рабочего слоя.

$$W_p = (\overline{W}_{таб} + D + D_1 \overline{W} - D_2 \overline{W}) * (1 + 0.1t) - D_3 = (0.52 + 0.000 + 0.000 - 0.000) * (1 + 0.1 * 1.48) - 0.001 = 0.595$$

3. Состав автомобильного потока

Состав движения	Известен
Коэффициент роста интенсивности, доли ед.	1.030
Состав потока задан	В автомобилях
Рост интенсивности	Общий для потока
Интенсивность движения на первый год	3042

службы, ед./сут.	
Интенсивность движения на расчетный год службы, ед./сут.	4599
Расчетное суточное число приложений на полосу приведенной нагрузки на последний год службы, ед./сут.	538.26
Суммарное расчетное число приложений на полосу за весь срок службы, ед.	2335479
Требуемый модуль упругости, МПа	326

Состав и характеристики автомобилей в транспортном потоке

Марка автомобиля	Кол-во, авт.	Коэф. груз.	Коэф. пробега	Рост инт., доли ед.	Коэф. привед.
Легковые автомобили, небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	2720	1.0	1.0	1.030	0.002
01. Двухосные грузовые автомобили	145	1.0	1.0	1.030	1.510
02. Трехосные грузовые автомобили	94	1.0	1.0	1.030	2.330
07. Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	52	1.0	1.0	1.030	3.250
Автобусы	31	1.0	1.0	1.030	1.160

Вычисляем приведенную интенсивность к расчетной нагрузке на первый год службы:

$$2720 \cdot 0.002 + 145 \cdot 1.510 + 94 \cdot 2.330 + 52 \cdot 3.250 + 31 \cdot 1.160 = 647.01 \text{ ед./сут.}$$

Вычисляем приведенную интенсивность к расчетной нагрузке на последний год службы с учетом коэффициента полнотности:

$$N_p = f_{\text{пол}} * N_0 * q_{\text{Тсл}} - 1 = 0.55 * 647.01 * 1.030^{15-1} = 538.26 \text{ ед./сут.}$$

$$\text{Вычисляем суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки:} \\ = 2335479 \text{ ед.}$$

$$\text{Вычисляем минимальный требуемый модуль упругости:} \\ = 325.75 \text{ МПа}$$

4. Расчетная нагрузка по ПНСТ 542-2021

Нагрузка определяется	по ПНСТ 542-2021
Расчетная нагрузка	Задана пользователем
Вид расчетной нагрузки	Динамическая
Тип колеса	Двухбаллонное
Нормативная статическая нагрузка на ось, Q _{расч.ось} кН	113.00
Давление в шинах p, МПа	0.66
Диаметр круга определяют	по формуле ПНСТ 542-2021
Диаметр штампа D, см	37.64

Расчет динамической нагрузки:

$$Q_{\text{драсч.ось}} = Q_{\text{расч.ось}} * K_d = 113.00 * 1.3 = 146.90 \text{ кН}$$

Расчет диаметра штампа:

$$D = 37.64 \text{ см}$$

	непрерывной гранулометрии для оснований при максимальном размере зерен С5 - 40 мм															
5	Песок гравелистый с содержанием пылевато- глинистой фракции 5%	20.0	20.0	130	-	-	-	-	-	-	2.00	0.003	0.005	28.0	34.0	2000
6	Супесь легкая крупная	-	-	65	-	-	-	-	-	0.595	2.00	0.005	0.014	12.0	36.0	2100

6. Расчет конструкции дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу

1) Расчет выполняется для слоя Песок гравелистый с содержанием пылевато-глинистой фракции 5% ГОСТ 32824-2014

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.50; X_2 = 0.53; 0.670; E_{2общ} = 0.670 * 130.00 = 87.07 \text{ МПа};$$

2) Расчет выполняется для слоя Щебеночная смесь непрерывной гранулометрии для оснований при максимальном размере зерен С5 - 40 мм ГОСТ 25607-2009

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.33; X_2 = 0.96; 0.642; E_{3общ} = 0.642 * 260.00 = 166.85 \text{ МПа};$$

3) Расчет выполняется для слоя Щебень легкоуплотняемый фракции 31,5-63 мм по ГОСТ 32703-2014 мм с заклинкой фракционным мелким щебнем

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.37; X_2 = 0.53; 0.557; E_{4общ} = 0.557 * 450.00 = 250.86 \text{ МПа};$$

4) Расчет выполняется для слоя Асфальтобетон пористый теплый на битуме БНД марки 200/300, Крупнозернистый, Марка II

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.26; X_2 = 0.24; 0.331; E_{5общ} = 0.331 * 950.00 = 314.14 \text{ МПа};$$

5) Расчет выполняется для слоя Асфальтобетон плотный теплый на битуме БНД марки 200/300, Тип Б, Марка II

(Расчет выполнен по номограммам ПНСТ 542-2021)

$$X_1 = 0.26; X_2 = 0.21; 0.318; E_{6общ} = 0.318 * 1200.00 = 381.42 \text{ МПа};$$

коэффициент прочности = 1.1709

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр;пр} = 1.17$

$1.1709 > 1.17$ - условие выполнено

Запас прочности = +0%

7. Расчет по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев

1) Расчет выполняется для слоя Супесь легкая крупная

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляются как средневзвешенный:
294.67 МПа

По отношениям: $X_1 = 4.53$ и $X_2 = 2.47$

с помощью номограммы находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:

$$\bar{t}_n = 0.0144 \text{ МПа}$$

Действующие активные напряжения сдвига:

$$T = \bar{t}_n * p = 0.0144 * 0.66 = 0.00950 \text{ МПа}$$

Предельное активное напряжение сдвига:

$$T_{np} = k_d * (C_N + 0.001 * g_{cp} * z_{on} * tg(j_{cm})) =$$

$$2.00 * (0.005 + 0.001 * 20.2043 * 0.93 * tg(36.0)) = 0.03730 \text{ МПа}$$

$$\gamma = 20.2043 \text{ кН/м}^3$$

$$K = 3.9270$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{np;np} = 1.00$

$3.9270 > 1.00$ - условие выполнено

Запас прочности = +292%

2) Расчет выполняется для слоя Песок гравелистый с содержанием пылевато-глинистой фракции 5% ГОСТ 32824-2014

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляются как средневзвешенный:
339.78 МПа

По отношениям: $X_1 = 3.90$ и $X_2 = 1.94$

с помощью номограммы находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:

$$\bar{t}_n = 0.0191 \text{ МПа}$$

Действующие активные напряжения сдвига:

$$T = \bar{t}_n * p = 0.0191 * 0.66 = 0.01257 \text{ МПа}$$

Предельное активное напряжение сдвига:

$$T_{np} = k_d * (C_N + 0.001 * g_{cp} * z_{on} * tg(j_{cm})) =$$

$$2.00 * (0.003 + 0.001 * 20.2603 * 0.73 * \operatorname{tg}(34.0)) = 0.02595 \text{ МПа}$$

$$\gamma = 20.2603 \text{ кН/м}^3$$

$$K = 2.0641$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр;np} = 1.00$
 $2.0641 > 1.00$ - условие выполнено
 Запас прочности = Error! = Error! = +106%

8. Расчет конструкции дорожной одежды на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе

1) Расчет на изгиб выполняется для слоя Асфальтобетон пористый теплый на битуме БНД марки 200/300, Крупнозернистый, Марка II

Средневзвешенный модуль упругости слоев:
 $= 1682.35 \text{ МПа}$
 По отношениям: $X_1 = 6.706$ и $X_2 = 0.45$
 По номограмме определяем: $\bar{s}_r = 1.424 \text{ МПа}$

Расчетное растягивающее напряжение:
 $s_r = \bar{s}_r * p * k_g = 1.424 * 0.66 * 0.85 = 0.799 \text{ МПа}$

Вычисляем предельное растягивающее напряжение:
 $R_N = R_0 * k_1 * k_2 * (1 - V_R * t) = 7.10 * 0.1558 * 0.85 * (1 - 0.1 * 1.48) = 0.802$
 МПа

Коэффициент, отражающий влияние на прочность усталостных процессов, $k_1 := 0.1558$

$$K = 1.0032$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{тр;np} = 1.00$
 $1.0032 > 1.00$ - условие выполнено
 Запас прочности = +0%

9. Исходные данные и результаты проверки расчета на морозоустойчивость

Грунт рабочего слоя	Супесь легкая крупная
Степень пучинистости	Слабопучинистый
Допустимая величина морозного пучения, см	3.20
Коэффициент, учитывающий влияние глубины залегания УГВ	0.4300
Коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта	1.00
Коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава	1.00
Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса	1.6000
Коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта	1.0000

Предварительная проверка конструкции на морозоустойчивость.

Величина допустимого значения морозного пучения снижается на 20%, так как принятый срок службы дорожной одежды (Тсл) более 10 лет:

$$l_{доп} = l_{доп} * 0.8 = 4.00 * 0.8 = 3.20 \text{ см}$$

Определяем глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$:

$$z_{пр} = z_{пр.ср} = 20 \text{ см}$$

Определяем величину морозного пучения при осредненных условиях:

Значения коэффициентов для расчета $l_{пуч.ср}$:

По номограмме определяют коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины

$$\text{залегания грунтовых вод } K_{угв} = 0.4300$$

По таблице определяют коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта

$$\text{рабочего слоя } K_{пл} = 1.00$$

По таблице определяют коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического

$$\text{состава грунта основания насыпи } K_{гр} = 1.00$$

По номограмме определяем коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от

$$\text{собственного веса вышележащей конструкции на грунт в}$$

промерзающем слое

$$K_{нагр} = 1.6000$$

По таблице определяют коэффициент, зависящий от расчетной влажности

$$K_{вл} = 1.0000$$

$$h = 4.65 \text{ см}$$

По номограмме определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{до.тр.} = 7 \text{ см}$

Фактическая толщина дорожной одежды $h_{до} = 93.00 \text{ см}$

$h_{до} > h_{до.тр.}$

Морозоустойчивость дорожной одежды обеспечена.

Прочностные характеристики конструкции дорожной одежды.

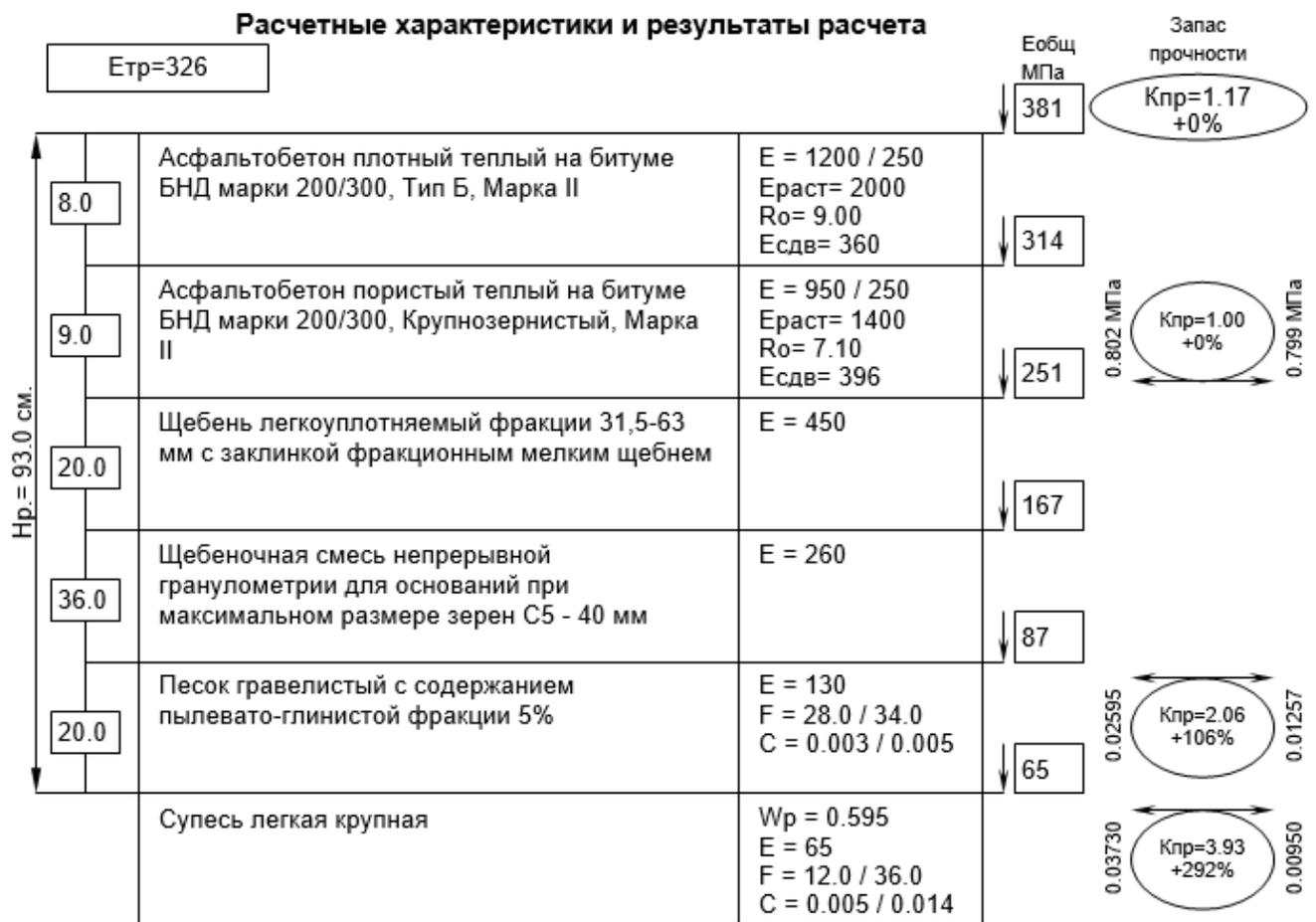
№ слоя	Наименование материала слоя	Расчетная толщина слоя, см	Общий модуль упругости по слоям, Еобщ, МПа	Показатель прочности:			Предельное активное напряжение сдвига в слое, Тпр, МПа	Расчетное активное напряжение сдвига, Т, МПа	Предельное растягивающее напряжение при	Расчетное растягивающее напряжение в слое, Ст, МПа	Расчетная влажность грунта, Wр, доли ед.	Стоимость, руб/кв.м
				критерий	расчетное значение коэф. прочности	величина, запас (+/-), %						
1	Асфальтобетон плотный теплый на битуме БНД марки 200/300, Тип Б, Марка II	8.0	381	Упругий прогиб	1.17	+0%	-	-	-	-	-	-
2	Асфальтобетон пористый теплый на битуме БНД марки 200/300, Крупнозернистый, Марка II	9.0	314	Растяжение	1.00	+0%	-	-	0.802	0.799	-	-
3	Щебень легкоуплотняемый фракции 31,5-63 мм с заклинкой фракционным мелким щебнем	20.0	251	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Щебеночная смесь непрерывной гранулометрии для оснований при максимальном размере зерен С5 - 40 мм	36.0	167	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Песок гравелистый с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%	20.0	87	Сдвиг	2.06	+106%	0.02595	0.01257	-	-	-	-
6	Супесь легкая крупная	-	65	Сдвиг	3.93	+292%	0.03730	0.00950	-	-	0.595	-
Суммарная толщина конструкции:		93.0	Итоговая стоимость конструкции:									-

10. Прогноз колееобразования, мм

Год эксплуатации	<30 %	30-40 %	41-50 %	51-60 %	61-70 %	71-80 %	>80 %
5	11.22	11.45	12.15	12.38	12.76	13.12	14.21
10	16.29	16.63	17.60	17.88	18.44	19.00	21.06
15	20.49	21.12	22.22	22.55	23.23	23.92	25.98

11. Информация

* Расчет выполнен. Замечаний нет.



E, C, R - МПа; F - град.

Рекомендации по приготовлению и применению теплого асфальтобетона, модифицированного методом полимерно-дисперсного армирования с использованием модификатора РТЭП-М, в условиях Сирии**Введение**

Настоящие рекомендации разработаны в целях нормативного и обеспечения потребителей продукции техническими требованиями и методиками приготовления и применения, для устройства дорожных покрытий из тёплых асфальтобетонных смесей, модифицированных методом полимерно-дисперсного армирования с использованием модификатора РТЭП-М, в условиях Сирийской Арабской Республики (САР). Рекомендации устанавливают требования к качеству и методы контроля её качества, обязательные для выполнения при производстве.

Положения настоящих рекомендаций обязательны к применению для получения долговечности и необходимых свойств слоев дорожной одежды из теплого асфальтобетона с РТЭП-М при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог.

Настоящие рекомендации разработаны в соответствии с ГОСТ Р 1.4, СТО 39952490-001-2020 и ОДМ 218.1.002-2020.

1. Область применения

1.1 Настоящие рекомендации предназначены для применения организациями, выполняющими функции заказчика и подрядными организациями, осуществляющими проектирование, строительство, ремонт и содержание автомобильных дорог.

1.2 В настоящих рекомендациях используется термоэластопласт резиновый РТЭП-М (далее по тексту модификатор), предназначенный для применения в качестве модификатора теплых асфальтобетонных смесей для получения полимерно-дисперсно-армированного теплого асфальтобетона для дорожного строительства (далее по тексту ПДАТ асфальтобетон, ПДАТ асфальтобетонная смесь). ПДАТ асфальтобетон обладает повышенным сопротивлением сжатию и

изгибу, улучшенными вязко-упругими свойствами, что в совокупности выражается в высокой сдвигоустойчивости, трещиностойкости и усталостной долговечности при воздействии длительных динамических нагрузок.

1.3 Рекомендации ориентированы на внедрение в практику строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры Сирийской Арабской республики инновационных технологий приготовления теплых асфальтобетонных смесей (далее по тексту ТАС), позволяющих значительно улучшить физико-механические свойства теплых асфальтобетонов и, как следствие, повышения транспортно-эксплуатационных показателей дорожных покрытий и увеличения межремонтных сроков нежестких дорожных одежд.

1.4 ПДАТ асфальтобетонные смеси с введением модификатора рекомендуется применять при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте, ремонте и содержании автомобильных дорог общего пользования разных технических категорий с нежесткими дорожными одеждами в условиях дорожно-климатических зон САР в соответствии с действующей нормативно-технической документацией при устройстве верхних слоев оснований, нижних и верхних слоев асфальтобетонных покрытий.

1.5 Область применения ПДАТ асфальтобетонов при устройстве слоев покрытий автомобильных дорог для различных климатических условиях в Сирийской Арабской Республике приведена на рисунке 4.3 настоящей диссертации.

1.6 Требования настоящих рекомендаций являются пригодными для идентификации и сертификации (декларирования) модификатора.

2. Метод полимерно-дисперсного армирования с использованием модификатора РТЭП-М

2.1 Модификатор представляет собой гранулы темного цвета, неправильной сферовидной формы, диаметром 2-6 мм. Модификатор является резино-полимерным материалом на основе полиолефинового полимерного носителя с включением тонкодисперсной резиновой крошки, минерального стабилизатора,

антиоксиданта и битумного вяжущего. Модификатор растворяется в углеводородах, битуме, хлороформе, четыреххлористом углероде.

2.2 Теплых асфальтобетонных смесей (ТАС) является одним из наиболее эффективных современных направлений развития технологии строительства дорожных покрытий.

2.3 Применение метода полимерно-дисперсного армирования расширяет возможность использования более эффективной теплой технологии приготовления асфальтобетонных смесей для устройства дорожных покрытий, в том числе и в регионах с жарким климатом.

3. Технические требования к модификатору

3.1 Термоэластопласт резиновый РТЭП-М должен соответствовать требованиям стандарта (СТО 39952490-001-2020), контрольным образцам-эталонам, и изготавливаться по технологической документации (рецептурам, регламенту), утвержденной в установленном порядке.

3.2 Физико-механические показатели модификатора должны соответствовать таблице.

Наименование показателя	Значение, норма	Методы испытаний
Внешний вид	Гранулы произвольной формы без посторонних включений; допускается вспенивание	10.2 (СТО 39952490-001-2020)
Цвет	Коричневый, чёрный	10.2 (СТО 39952490-001-2020)
Температура размягчения, °С	не менее 140	ГОСТ 33142
Средний размер гранул по наибольшему измерению, мм	2-6	10.4 (СТО 39952490-001-2020)
Насыпная плотность, г/см ³	0,35-0,70	ГОСТ Р 55419-2013

3.3 Определение соответствия показателей физико-механических свойств ПДАТ асфальтобетона и ПДАТ асфальтобетонных смесей с применением модификатора следует выполнять в соответствии с проектной документацией по требованиям ГОСТ 9128, ГОСТ 31015, ГОСТ Р 58406.1, ГОСТ Р 58406.2, ГОСТ Р 54401, СТО АВТОДОР 2.18-2015, а также рекомендациям ОДМ 218.3.001-2006.

3.4 Контроль модификатора должно осуществляться средствами, обеспечивающими качественное проведение работ; контроль и испытания производятся в соответствии с технологической документацией и стандартом (СТО 39952490-001-2020).

4. Технология приготовления и применения ПДАТ асфальтобетона

4.1 Для ПДАТ смесей и ПДАТ асфальтобетонов используемые минеральные материалы в соответствии с нормативными документами. Зерновые составы минеральной части ПДАТ смесей, содержащих РТЭП-М, соответствуют установленным ГОСТам для каждого конкретного типа смесей.

4.2 В качестве органического вяжущего применяют нефтяный дорожный битум марки БНД 70/100, данный битум разжижают, используя дизельное топливо, чтобы получить дорожный битум БНД 200/300, который используют для приготовления ПДАТ смесей.

4.3 ПДАТ смеси рекомендуется готовить в асфальтосмесительных установках, оборудованных смесителями принудительного перемешивания периодического или непрерывного действия.

4.4 При введении РТЭП-М в ПДАТ смесь его количество рассчитывают сверх 100 % содержания минеральных материалов.

4.5 Количество вводимого РТЭП-М в смесь ориентировочно составляет 0,5-1,5% от массы минеральных материалов. Оптимальное количество битума и РТЭП-М рекомендуется уточнять в каждом конкретном случае на основании результатов лабораторных исследований.

4.6 Введение РТЭП-М в смеситель и приготовления ПДАТ смесей осуществляется по следующей технологии.

Сначала в смеситель загружают нагретые до температуры 130-140°C минеральные материалы из весового бункера, вводят минеральный порошок и РТЭП-М и осуществляют «сухое» перемешивание. После этого подают битум БНД 200/300 при температуре 105-115 °С, перемешивают все компоненты смеси до тех пор, пока они хорошо не покроются битумом.

4.7 Продолжительность перемешивания устанавливается в соответствии с техническими данными асфальтобетонной установки и уточняется при пробном замесе.

4.8 Температура смесей, содержащих РТЭП-М, при выпуске из смесителя рекомендуется при температуре 120-125°C.

4.9 Смесей с РТЭП-М рекомендуется транспортировать к месту укладки автомобилями-самосвалами в соответствии с «Правилами перевозки грузов на автомобилях». Продолжительность транспортирования асфальтобетонных смесей устанавливается из условия обеспечения требуемой температуры при укладке в пределах (105-110) °С.

4.10 Укладку ПДАТ асфальтобетонных смесей рекомендуется осуществлять асфальтоукладчиком и, как правило, на всю ширину.

4.11 Температуру ПДАТ смесей при укладке в конструктивные слои дорожной одежды рекомендуется выдерживать в соответствии с указанной в п. 4.8.

4.12 Уплотнение ПДАТ смесей рекомендуется начинать непосредственно после их укладки, соблюдая при этом температурный режим, указанный в п. 4.9.

4.13 При укладке ПДАТ смесей сопряженными полосами длина укладываемой полосы не более 100 м на защищенных от ветра участках и не более 50 м на открытых участках.

4.14 Уплотнение асфальтобетонных смесей с РТЭП-М отличается рядом особенностей:

- температура смесей с РТЭП-М в момент уплотнения рекомендуется не ниже нижнего предела, указанного в п. 4.9;

- предварительно уплотняют гладковальцевым легким катком (2-4 прохода по одному следу). Первый проход осуществляют без вибрации, остальные - с включенной вибрацией, затем комбинированным или гладковальцевым катком массой 16-18 т с включенной вибрацией (4-8 проходов), заканчивают уплотнение, используя пневмокотки массой 13 -18 т (3-5 проходов по одному следу);

- окончательный вариант по выбору отряда катков для уплотнения рассматриваемых смесей рекомендуется назначать в зависимости от температуры смеси, погодных условий и результатов проб уплотнения.

4.15 Коэффициенты уплотнения конструктивных слоев дорожной одежды рекомендуются не ниже:

- 0,99 — для высокоплотных и плотных ПДАТ асфальтобетонов из смесей типов А и Б;

- 0,98 — для плотного ПДАТ асфальтобетона из смесей типа Г.

5. Правила приёмки

5.1 Приём упакованной продукции осуществляют партиями. За партию принимается количество однородного по качеству модификатора, изготовлен ных из однородного сырья при едином установившемся технологическом режиме в течение одной смены, сопровождаемое единым документом о качестве (паспортом). Объём партии должен быть не менее 0,5 т, но не более 100 т.

5.2 Документ о качестве должен содержать:

- обозначение предприятия-изготовителя;
- адрес местонахождения предприятия-изготовителя;
- обозначение продукции по настоящему стандарту;
- назначение и условия применения;
- номер и объём отгружаемой партии;
- дату изготовления (месяц, год);
- гарантии изготовителя. Гарантийный срок хранения РТЭП-М не ограничен со дня изготовления при соблюдении температуры (от -30°С до +50°С);
- условия проведения испытаний;
- отметку о прохождении технического контроля и соответствии стандарту (СТО 39952490-001-2020);
- результаты проведённых испытаний;
- сведения о сертификации (декларировании).

5.3 При получении неудовлетворительных результатов контроля хотя бы по одному из параметров, проводят испытания проб, взятых из каждого упаковочного места, согласно отгрузочной спецификации, сопровождающую каждую партию добавки, и являющуюся обязательным приложением к паспорту качества.

Результаты повторных испытаний передаются производителю, который проверяет результаты на отобранных в процессе изготовления арбитражных пробах.

5.4 При подтверждении несоответствия результатов испытаний требованиям в соответствии с п. 3.2, производительставляет за свой счет соответствующее количество добавки забракованного упаковочного места, а в случае несоответствия результатов испытаний по показателю температуры размягчения по п. 6.3 более двух проб, возможна замена всей партии.

5.5 Приемку ПДАТ смеси производят партиями. При приемке и отгрузке смесей партией считают количество смеси одного состава, выпускаемой на одной установке в течение смены, но не более 600 т.

5.6 На каждую партию отгруженной смеси потребителю выдают документ о качестве, в котором указывают результаты приемосдаточных и периодических испытаний, в том числе:

- наименование предприятия-изготовителя;
- номер и дату выдачи документа;
- наименование и адрес потребителя;
- тип смеси;
- водостойкость;
- водостойкость при длительном водонасыщении;
- массу смеси;
- водонасыщение;
- пределы прочности при сжатии при температуре 50 и 0°С;
- остаточную пористость и пористость минеральной части смеси;
- удельную эффективную активность естественных радионуклидов;

- сдвигоустойчивость и трещиностойкость при условии наличия этих показателей в проектной документации и договоре на поставку;
- обозначение настоящего стандарта.

При отгрузке смеси потребителю каждый автомобиль сопровождают транспортной документацией, в которой указывают:

- наименование предприятия-изготовителя;
- наименование и адрес потребителя;
- дату изготовления;
- время выпуска из смесителя;
- температуру отгружаемой смеси;
- тип и количество смеси.

5.7 Потребитель имеет право проводить контрольную проверку соответствия смесей настоящим рекомендациям, соблюдая стандартные методы отбора проб, приготовления образцов испытаний, применяя при этом следующий порядок отбора проб.

Для контрольных испытаний ПДАТ смесей, отгружаемых в автомобили, отбирают по 9 объединенных проб от каждой партии непосредственно из кузовов автомобилей. Отобранные пробы не смешивают и испытывают сначала три пробы. При получении удовлетворительных результатов испытаний остальные пробы не испытывают. При получении неудовлетворительных результатов испытаний хотя бы одной пробы из трех проводят испытания остальных шести проб. В случае неудовлетворительных результатов испытаний хотя бы одной пробы из шести партию бракуют.

5.8 Качество готовых ПДАТ смесей оценивается по показателям однородности, а также по результатам испытания стандартных образцов по нормативным стандартам.

5.9 Однородность ПДАТ смесей оценивают как визуально или по значениям средней плотности.

При визуальной оценке смесь считают однородной, если в двухтрех пробах из одного замеса отсутствуют комки, скопления битума, минерального порошка и гранул РТЭП-М, зерна минерального материала, не покрытые битумом.

При оценке однородности по значениям средней плотности отбирают 3-4 пробы из одного замеса. Если расхождения в значениях средней плотности проб не превышают $0,03 \text{ г/см}^3$, смесь считают однородной.

6. Методы контроля

Для модификатора РТЭП-М:

6.1 Испытания проводят в помещениях с температурой воздуха $(22 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажностью $(50 \pm 5) \%$.

6.2 Цвет, внешний вид модификатора определяют визуально при дневном или искусственном рассеянном освещении.

6.3 Температура размягчения модификатора определяется при помощи лабораторного оборудования, описанного в ГОСТ 33142, по следующей методике:

1. Модификатор насыпают в два ступенчатых кольца, помещенных на пластинку, покрытую смесью декстрина с глицерином (1:3) или талька с глицерином (1:3).

2. Кольца с модификатором выдерживают 20 минут в сушильном шкафу при температуре $180 \text{ }^\circ\text{C}$, придавливая стеклянной палочкой до получения однородного расплава.

3. Избыток материала модификатора срезают после охлаждения на воздухе в течение 5 мин. горячим ножом.

4. Проведение испытания. Кольца с материалом модификатора помещают в отверстия верхней пластинки аппарата Штатив с испытуемым материалом добавки в кольцах и направляющими накладками помещают в сушильный шкаф, нагретый до температуры $140 \text{ }^\circ\text{C}$ и выдерживают в течении 40 мин. Если по истечении этого времени, шар под действием собственного веса, в результате размягчения расплава опустился на величину, больше своего диаметра, добавка считается соответствующей требованиям таблицы п. 3.2.

6.4 Массу потребительской упаковки, заполненной модификатором, определяют валированием на весах не ниже 3 класса точности при температуре (20 ± 2) °С. Массу нетто определяют как разность массы потребительской упаковки, заполненной модификатором, и массой той же, но пустотелой тары

6.5 Определение размера гранул проводят с помощью линейки по ГОСТ 427, размер десяти гранул, взятых подряд. По полученным данным вычисляют среднеарифметическое значение.

Для ПДАТ смесей:

6.6 Для проверки соответствия настоящему документу проводят приемосдаточные и периодические испытания. При приемосдаточных испытаниях ПДАТ смесей отбирают одну объединенную пробу в соответствии с ГОСТами от партии и определяют температуру отгружаемой смеси при выгрузке из смесителя или накопительного бункера; зерновой состав минеральной части смеси; водонасыщение - для всех смесей; предел прочности при сжатии при температуре 50°С, 20°С и водостойкость.

6.7 При периодическом контроле качества смесей определяют пористость минеральной части; остаточную пористость; водостойкость при длительном водонасыщении; предел прочности при сжатии при температуре 0°С; сцепление битума с минеральной частью; сдвигоустойчивость и трещиностойкость при условии наличия этих показателей в проектной документации.

6.8 Периодический контроль осуществляют не реже 1 раза в месяц, а также при каждом изменении материалов, применяемых при изготовлении смесей, однородность смесей, оцениваемую коэффициентом вариации по п. 5.9, рассчитывают ежемесячно. Сдвигоустойчивость и трещиностойкость, при условии наличия этих показателей в проектной документации и договоре на поставку, определяют не реже 1 раза в месяц при наличии оборудования у изготовителя или 1 раза в два месяца при проведении испытаний в специализированных лабораториях, оснащенных необходимым оборудованием.

Перевод рекомендаций на арабский язык

توصيات لتحضير وتنفيذ الخرسانة الإسفلتية الدافئة المسلحة بطريقة التقوية البوليميرية الموزعة باستخدام معدل (RTEP-M) في ظروف سورية

المقدمة:

تم تطوير هذه التوصيات لغرض التنظيم وتزويد مستهلكي المنتج بالمتطلبات الفنية وطرق التحضير والاستخدام لبناء أسطح الطرق من الخلطات الخرسانية الإسفلتية الدافئة المسلحة بطريقة التقوية البوليميرية الموزعة باستخدام معدل RTEP-M في ظروف الجمهورية العربية السورية (SAR). تحدد التوصيات متطلبات الجودة وطرق مراقبة الجودة التي تعتبر إلزامية للعمل بها أثناء الإنتاج.

تعتبر أحكام هذه التوصيات إلزامية التطبيق من أجل الحصول على الديمومة والخصائص الضرورية لطبقات الرصف المصنوعة من الخرسانة الإسفلتية الدافئة المحسنة باستخدام معدل RTEP-M في إنشاء وإصلاح وإعادة بناء طرق السيارات. تم تطوير هذه التوصيات وفقاً للوثائق المعيارية:

(GOST R 1.4، STO 39952490-001-2020، ODM 218.1.002-2020)

1. مجال التطبيق:

1.1 هذه التوصيات مخصصة للاستخدام والتطبيق من قبل المنظمات والشركات التي تؤدي وظائف العميل والمقاولين المشاركين في تصميم الطرق وإنشائها وإصلاحها وصيانتها.

1.2 تستخدم هذه التوصيات المعدل المطاطي اللدن حرارياً (RTEP-M) المشار إليه فيما يلي باسم المعدل، المخصص للاستخدام كمعدل لخلطات الخرسانة الإسفلتية الدافئة للحصول على الخرسانة الإسفلتية الدافئة المسلحة بطريقة التقوية البوليميرية الموزعة لبناء الطرق (المشار إليها فيما بعد باسم الخرسانة الإسفلتية (PDAT)، خليط الخرسانة الإسفلتية (PDAT)) تتميز الخرسانة الإسفلتية PDAT بمقاومتها المتزايدة للضغط والانحناء، وتحسين خصائص المرونة اللزجة، والتي تؤدي معاً إلى مقاومة عالية للقص، ومقاومة التشققات، ومقاومة التعب عند تعرضها لأحمال ديناميكية طويلة المدى.

1.3 تركز التوصيات على إدخال تقنيات مبتكرة لإعداد خلطات الخرسانة الإسفلتية الدافئة (المشار إليها فيما بعد باسم TAC) مما يسمح بتحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة الإسفلتية الدافئة بشكل كبير، ونتيجة

لذلك، زيادة مؤشرات النقل والأداء التشغيلي لأسطح الطرق وزيادة المدة بين عمليات الصيانة لطبقات الرصف غير الصلبة.

1.4 يوصى باستخدام مخاليط الخرسانة الإسفلتية PDAT مع إدخال المُعدّل في بناء وإعادة بناء و إعادة تأهيل وإصلاح وصيانة الطرق العامة من مختلف الفئات الفنية مع الرصيف غير الصلب في ظروف المناطق المناخية للطرق في SAR وفقاً للوائح التنظيمية والفنية الحالية لإنشاء طبقات الرصف السطحية وطبقة الأساس و ما تحت الأساس من الأرصفة الخرسانية الإسفلتية.

1.5 نطاق تطبيق الخرسانة الإسفلتية PDAT في إنشاء طبقات رصف الطرق لمختلف الظروف المناخية في الجمهورية العربية السورية موضح في الشكل 4.3 من هذه الأطروحة.

1.6 متطلبات هذه التوصيات مناسبة لتحديد واعتماد (إعلان) المُعدّل.

2. طريقة التسليح البوليميري الموزع باستخدام معدل RTEP-M:

2.1 المعدل عبارة عن حبيبات داكنة ذات شكل كروي غير منتظم يبلغ قطرها 2-6 مم. المعدل عبارة عن مادة بوليمر مطاطية تعتمد على بوليمر بولي أوليفين مع تضمين فتات مطاطي ناعم ومثبت معدني ومضاد للأكسدة ومادة رابطة من البيتومين، يذوب المعدل في الهيدروكربونات والقار والكلوروفورم ورابع كلوريد الكربون.

2.2 يعتبر مزيج الأسفلت الدافئ (TAC) أحد أكثر الاتجاهات الحديثة فعالية في تطوير تكنولوجيا إنشاء الطرق.

2.3 يؤدي تطبيق طريقة التسليح الموزع بالبوليمر إلى توسيع إمكانية استخدام تقنية دافئة أكثر كفاءة لإعداد خلطات الخرسانة الإسفلتية للرصف، بما في ذلك في المناطق ذات المناخ الحار.

3. المتطلبات الفنية للمعدل:

3.1 يجب أن يتوافق المطاط الصناعي اللدن بالحرارة RTEP-M مع متطلبات المعيار (STO 39952490-001-2020)، وعينات التحكم، ويتم تصنيعه وفقاً للوائح التكنولوجية (المتطلبات واللوائح) المعتمدة بالطريقة المحددة.

3.2 يجب أن تتوافق المؤشرات الفيزيائية والميكانيكية للمعدل مع القيم الواردة في الجدول.

اسم المؤشر	القيمة	طرق الاختبار
الشكل الخارجي	حبيبات ذات شكل غير منتظم بدون شوائب	10.2 (CTO 39952490-001-2020)
اللون	البنّي والأسود	10.2 (CTO 39952490-001-2020)
درجة حرارة التلين (درجة مئوية)	على الأقل 140	ГОСТ 33142
متوسط حجم الحبيبات ، مم	2-6	10.4 (CTO 39952490-001-2020)
الكثافة الظاهرية، غرام/سم ³	0,35-0,70	ГОСТ P 55419-2013

3.3 يجب أن يتم تحديد مدى مطابقة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة الإسفلتية PDAT ولمخاليط الخرسانة الإسفلتية PDAT باستخدام المعدّل وفقاً لوثائق التصميم ووفقاً لمتطلبات GOST 9128، GOST 31015، GOST R 58406.1، GOST R 58406.2، GOST R 54401، STO AVTODOR 2.18-، بالإضافة إلى توصيات ODM 218.3.001-2006، 2015.

3.4 يجب أن يتم التحكم في المعدّل بوسائل تضمن جودة العمل؛ يتم إجراء المراقبة والاختبار وفقاً للوثائق والمعايير التكنولوجية (STO 39952490-001-2020).

4. تكنولوجيا تحضير وتطبيق الخرسانة الإسفلتية PDAT:

4.1 بالنسبة لمخاليط الخرسانة الإسفلتية PDAT والخرسانة الإسفلتية PDAT، يتم استخدام المواد الحصوية وفقاً للوثائق التنظيمية. تتوافق التركيبات الحبية للمواد الحصوية من مخاليط PDAT التي تحتوي على RTEP-M مع معايير الحالة المحددة لكل نوع محدد من الخلطات الإسفلتية.

4.2 يتم استخدام بيتومين الطريق ذو درجة الغرز AC 70/100 كمادة رابطة عضوية، ويتم تسهيل هذا البيتومين باستخدام وقود الديزل للحصول على بيتومين الطريق ذو درجة الغرز AC 200/300، والذي يستخدم لتحضير خلطات PDAT.

4.3 يوصى بتحضير خلطات PDAT في محطات خلط الإسفلت المجهزة بخلطات الخلط الميكانيكية القسرية المتقطعة أو المستمرة.

4.4 عند إدخال معدل RTEP-M في خليط الخرسانة الإسفلتية PDAT، يتم حساب كميته ويشار إلى نسبته كنسبة من وزن المواد الحصوية.

4.5 تبلغ كمية معدل RTEP-M المدخلة في الخليط حوالي 0.5-5.1% وزناً من المواد الحصوية. يوصى بتحديد الكمية المثلى من البيتومين و RTEP-M في كل حالة محددة بناءً على نتائج الاختبارات المخبرية.

- 4.6 يتم إدخال RTEP-M في الخلاط وتحضير مخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT وفقاً للتقنية التالية:
- يتم تحميل المواد الحصوية المسخنة إلى درجة حرارة 130-140 درجة مئوية في الخلاط من وعاء الوزن، ويتم إدخال الفيلر و RTEP-M، ويتم إجراء الخلط "الجاف". بعد ذلك يتم تغذية البيتومين AC 200/300 عند درجة حرارة 105-115 درجة مئوية، ويتم خلط جميع مكونات الخليط حتى يتم تغطيتها جيداً بالبيتومين.
- 4.7 يتم تحديد مدة الخلط وفقاً للبيانات الفنية لمصنع الخرسانة الإسفلتية ويتم تحديدها أثناء إجراء الاختبارات.
- 4.8 يوصى بأن تكون درجة حرارة مخاليط الخرسانة الاسفلتية الحاوية على معدل RTEP-M عند تفرغها من الخلاط عند درجة حرارة 120-125 درجة مئوية.
- 4.9 يوصى بنقل مخاليط الخرسانة الاسفلتية المحتوية على معدل RTEP-M إلى مكان فرشها ووضعها بواسطة شاحنات قلابية وفقاً لقواعد نقل الخرسانة الاسفلتية بالمركبات الآلية. يتم تحديد مدة نقل الخلطات الخرسانية الإسفلتية من شرط ضمان درجة الحرارة المطلوبة أثناء المد ضمن (105-110) درجة مئوية.
- 4.10 يوصى بفرش ومد مخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT عند رصف الطرق، وكقاعدة عامة، على كامل العرض.
- 4.11 يوصى بالمحافظة على درجة مخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT عند مداها فلا إنشاء طبقات رصف الطرق وفقاً لما هو محدد في البند 4.8.
- 4.12 يوصى بالبداية في رص مخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT مباشرة بعد وضعها، مع مراعاة نظام درجة الحرارة المحدد في البند 4.9.
- 4.13 عند مد مخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT في شرائح مترافقة، يجب ألا يزيد طول الشريط المرسوم عن 100 متر في المناطق المحمية من الرياح ولا يزيد عن 50 متراً في المناطق المفتوحة.
- 4.14 يتميز رص الخلطات الإسفلتية باستخدام RTEP-M بعدد من الميزات:
- يوصى بأن لا تقل درجة حرارة المخاليط المحتوية على معدل RTEP-M في وقت الرص عن الحد الأدنى المحدد في الفقرة 4.9؛
 - الدحل مسبقاً بمداحل ذات أسطوانة خفيفة ناعمة (2-4 تمريرات على طول مسار واحد). يتم تنفيذ التمريرة الأولى بدون اهتزاز، والباقي - مع تشغيل الاهتزاز، ثم أسطوانة طبلية مدمجة أو ناعمة تزن 16-18 طنًا مع تشغيل الاهتزاز (4-8 تمريرات)، ويتم الانتهاء من الرص باستخدام المداحل ذات العجلات الهوائية تزن 13-18 طن (3-5 يمر على طول مسار واحد)؛
 - يوصى بتخصيص الخيار النهائي لاختيار مجموعة بكرات لدمك المخاليط اعتماداً على درجة حرارة الخليط والظروف الجوية ونتائج اختبارات الضغط.

4.15 يوصى بأن لا تقل معاملات الرص للطبقات الطرق المرصوفة عن:

- 0.99 - للخرسانة الإسفلتية PDAT عالية الكثافة والكثيفة من مخاليط خرسانة اسفلتية من النوعين A و B حسب الكود الروسي؛
- 0.98 - للخرسانة الإسفلتية الكثيفة PDAT من مخاليط خرسانة اسفلتية من النوع G حسب الكود الروسي.

5. قواعد القبول:

5.1 يتم قبول منتجات المعدل المعبأة على دفعات، تعتبر الدفعة هي كمية معدل ذو الجودة الموحدة المصنوعة من مواد خام متجانسة بموجب نظام تكنولوجي واحد ثابت خلال وريدية واحدة، مصحوبة بوثيقة جودة واحدة (بطاقة وصف). يجب أن يكون حجم الدفعة 0.5 طن على الأقل، ولكن ليس أكثر من 100 طن.

5.2 ينبغي أن تحتوي وثيقة الجودة على ما يلي:

- تسمية الشركة المصنعة؛
- عنوان موقع الشركة المصنعة؛
- تسمية المنتجات وفقا لهذا المعيار؛
- الغرض وشروط الاستخدام؛
- عدد وحجم الكمية المشحونة؛
- تاريخ الصنع (الشهر، السنة)؛
- ضمان الصانع. فترة الضمان لتخزين RTEP-M لا تقتصر على تاريخ الصنع وتعتبر غير محددة، وتخضع لدرجة الحرارة (من -30 درجة مئوية إلى +50 درجة مئوية)؛
- شروط الاختبار؛
- علامة على اجتياز المراقبة الفنية والامتثال للمعيار (STO 39952490-001-2020)؛
- نتائج الاختبارات؛
- معلومات حول شهادة المطابقة للمواصفات.

5.3 عند استلام نتائج مراقبة جودة غير مرضية لواحد على الأقل من المؤشرات، يتم إجراء الاختبارات على العينات المأخوذة من كل مكان تعبئة، وفقاً لمواصفات الشحن المصاحبة لكل دفعة من المادة المضافة، وهي ملحق إلزامي لشهادة الجودة. يتم نقل نتائج الاختبارات المتكررة إلى الشركة المصنعة التي تقوم بفحص النتائج على عينات التحكم المختارة أثناء عملية التصنيع.

5.4 إذا تم التأكد من فشل نتائج الاختبار في تلبية المتطلبات وفقاً للبند 3.2، يقوم المصنع بالتزويد على نفقته الخاصة بالكمية المناسبة من المعدل للكمية المرفوضة، وإذا كانت نتائج الاختبار لا تتوافق مع نقطة التليين وفقاً للبند 3.2 لأكثر من عينتين، من الممكن استبدال الدفعة بأكملها.

5.5 يتم قبول خليط الخرسانة الاسفلتية PDAT على دفعات. عند قبول وشحن المخاليط، تأخذ الدفعة بعين الاعتبار كمية الخليط من نفس التركيبة المنتجة في منشأة واحدة أثناء نوبة العمل، ولكن ليس أكثر من 600 طن. 5.6 لكل دفعة من الخليط المشحونة، يتم إصدار وثيقة الجودة للمستهلك، والتي تشير إلى نتائج القبول والاختبارات الدورية، بما في ذلك:

- اسم الشركة المصنعة؛
- رقم وتاريخ إصدار الوثيقة؛
- اسم وعنوان المستهلك؛
- نوع الخليط؛
- مقاوم المياه؛
- مقاومة الماء عند تشبع الماء لفترة طويلة؛
- كتلة الخليط؛
- تشبع الماء.
- قوة الضغط عند 50 و 0 درجة مئوية؛
- المسامية المتبقية ومسامية الجزء الحصى من الخليط؛
- النشاط الفعال المحدد للنويدات المشعة الطبيعية؛
- مقاومة القص ومقاومة الشقوق، بشرط وجود هذه المؤشرات في وثائق المشروع وعقد التوريد؛
- تعيين هذا المعيار.

عند شحن الخليط إلى المستهلك، تكون كل سيارة مصحوبة بوثائق النقل التي تشير إلى:

- اسم الشركة المصنعة؛
- اسم وعنوان المستهلك؛
- تاريخ التصنيع؛
- وقت الافراج عن الخلاط.
- درجة حرارة الخليط المشحون؛
- نوع وكمية الخليط.

5.7 يحق للمستخدم التحقق من امتثال المخاليط لهذه التوصيات، باتباع الطرق القياسية لأخذ العينات، وإعداد عينات الاختبار، مع تطبيق إجراء أخذ العينات التالي.

بالنسبة لاختبارات المراقبة و التحكم في مخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT المشحونة بالشاحنات، يتم أخذ 9 عينات مجمعة من كل دفعة مباشرة من محتوى الشاحنات. لا يتم خلط العينات المختارة ويتم اختبار ثلاث عينات أولاً. إذا تم الحصول على نتائج اختبار مرضية، لا يتم اختبار العينات المتبقية. إذا تم الحصول على نتائج اختبار غير مرضية لعينة واحدة على الأقل من أصل ثلاث، يتم اختبار العينات الست المتبقية. في حالة ظهور نتائج اختبار غير مرضية لعينة واحدة على الأقل من أصل ستة، يتم رفض الدفعة.

5.8 يتم تقييم جودة مخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT الجاهزة من خلال مؤشرات التجانس، وكذلك من خلال نتائج اختبار العينات القياسية وفقاً للمعايير التنظيمية.

5.9 يتم تقييم تجانس الخلطات الإسفلتية إما بصريا أو بقيم متوسط الكثافة. عند تقييمه بصريا، يعتبر الخليط متجانسا إذا لم تكن هناك تكتلات من البيتومين و المواد الحصوية وحببيات معدل ال RTEP-M وحبوب المواد الحصوية غير المغطاة بالقار في عينتين أو ثلاث عينات من دفعة واحدة. عند تقييم التجانس حسب قيم متوسط الكثافة يتم أخذ 3-4 عينات من الدفعة الواحدة. إذا كانت الاختلافات في قيم متوسط كثافة العينات لا تزيد عن 0.03 جم/سم³ يعتبر الخليط متجانسا.

6. طرق المراقبة والتحكم:

- بالنسبة لمعدل RTEP-M:

6.1 يتم إجراء الاختبارات في غرف ذات درجة حرارة هواء (22 ± 2) درجة مئوية ورطوبة نسبية (50 ± 5)%.

6.2 يتم تحديد اللون ومظهر المعدل بصرياً في ضوء النهار أو الإضاءة المحيطة المنتشرة.

6.3 يتم تحديد درجة حرارة تليين المعدل باستخدام معدات المختبر الموضحة في GOST 33142، وفقاً

للطريقة التالية:

1. يُسكب المعدل في حلقتين متدرجتين توضعان على طبق مطلي بخليط من الدكسترين مع الجلسرين (1:3) أو الدكسترين مع الجلسرين (1:3).
2. يتم الاحتفاظ بالحلقات ذات المعدل لمدة 20 دقيقة في الفرن عند درجة حرارة 180 درجة مئوية، مع الضغط عليها بقضيب زجاجي حتى يتم الحصول على ذوبان متجانس.
3. يتم قطع المادة المعدلة الزائدة بعد تبريدها في الهواء لمدة 5 دقائق. سكين ساخن.

4. الاختبار

يتم وضع الحلقات التي تحتوي على المادة المعدلة في فتحات اللوحة العلوية للجهاز. إذا غرقت الكرة، بعد هذا الوقت، تحت تأثير وزنها، نتيجة تليين الذوبان، بقيمة أكبر من قطرها، فإن المادة المضافة تعتبر مستوفية لمتطلبات الجدول في البند 3.2.

6.4 كتلة عبوة المستهلك المملوءة بالمعدل، والتي يتم تحديدها من خلال تعليقها على ميزان، لا تقل عن فئة الدقة الثالثة عند درجة حرارة (20 ± 2) درجة مئوية. يتم تحديد الوزن الصافي على أنه الفرق بين وزن العبوة الاستهلاكية المملوءة بالمعدل ووزن نفس الحاوية الفارغة.

6.5 يتم تحديد حجم الحبيبات باستخدام مسطرة وفقاً لـ GOST 427 بحجم عشر حبيبات مأخوذة على التوالي. ووفقاً للبيانات التي تم الحصول عليها، يتم حساب قيمة المتوسط الحسابي.

- بالنسبة لمخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT:

6.6 للتحقق من الامتثال لهذه التوصيات، يتم إجراء اختبارات القبول والدورية. أثناء اختبار قبول مخاليط الخرسانة الاسفلتية PDAT، يتم أخذ عينة مجمعة وفقاً لمعايير GOST من الدفعة ويتم تحديد درجة حرارة الخليط المشحون عند التفريغ من الخلاط أو صندوق التخزين؛ تكوين الحبوب للجزء الحصى من الخليط - تشبع الماء - لجميع المخاليط - قوة الضغط عند 50 درجة مئوية - 20 درجة مئوية - مقاومة للماء.

6.7 أثناء المراقبة الدورية لجودة المخاليط، يتم تحديد مسامية الجزء الحصى - المسامية المتبقية - مقاومة الماء مع تشبع الماء لفترات طويلة - قوة الضغط عند 0 درجة مئوية - التصاق البيتومين بالمواد الحصى - مقاومة القص ومقاومة الشقوق، بشرط توفر هذه المؤشرات في وثائق التصميم.

6.8 تتم المراقبة الدورية مرة واحدة على الأقل شهرياً، وأيضاً مع كل تغيير في المواد المستخدمة في صناعة الخلطات يتم حساب تجانس الخلطات المقدر بمعامل التباين طبقاً للبند 5.9 شهرياً. يتم تحديد مقاومة القص ومقاومة التصدع بشرط توفر هذه المؤشرات في وثائق التصميم وعقد التوريد، مرة واحدة على الأقل شهرياً إذا كانت الشركة المصنعة لديها المعدات أو مرة كل شهرين عند الاختبار في مختبرات متخصصة مجهزة بالمعدات اللازمة .

Директор ООО «ПОЛИМЕРТЭК»
Плотников С.В.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования
аспиранта кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог
Алшахвана А.

г. Воронеж

«02» 05 2023 г.

В период 2021-2022 гг. ООО «ПОЛИМЕРТЭК» произвел и реализовал более 150 тонн модификатора РТЭП-М, который был использован для устройства дорожных асфальтобетонных покрытий в Ростовской области (ООО «компания Ростэс-Юг»), Воронежской области (ООО «БДРСУ №2»), Тамбовской области (ООО «Бондарская ДСПМК»), Липецкой области (ООО «Мегаполисстрой К», ООО «КИТ СТРОЙ»). С применением модификатора РТЭП-М произведено более 50 000 тонн горячих и теплых асфальтобетонных смесей для устройства дорожных покрытий.

Термоэластопласт резиновый РТЭП-М, произведенный ООО «ПОЛИМЕРТЭК», соответствовал требованиям СТО 39952490-001-2020.

Рекомендации производителям асфальтобетонных смесей по использованию РТЭП-М были даны на основе результатов исследований, проведенных аспирантом кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог А. Алшахваном под руководством профессора, д.т.н. Ю.И. Калгина. Лабораторные исследования были проведены в рамках экспериментальной части диссертационной работы А. Алшахвана по оценке устойчивости к колееобразованию и структурно-механических свойств модифицированного горячего и теплого асфальтобетона.

Для внедрения результатов диссертационного исследования А. Алшахвана были приготовлены: контрольный состав горячей асфальтобетонной смеси А16В_н на битуме БНД 70/100 по ГОСТ Р 33133-2014 без модификатора; горячая асфальтобетонная смесь А16В_н на битуме БНД 70/100 по ГОСТ Р 33133-2014 с содержанием в минеральной части РТЭП-М в количестве 0,3 % по массе; теплая асфальтобетонная смесь А16В_н на битуме БНД 70/100, разжиженном дизельным топливом до условной вязкости $250 \times 0,1$ мм, с содержанием в минеральной части РТЭП-М в количестве 0,6 % по массе. Основные физические показатели

асфальтобетонных смесей по ГОСТ Р 58406.2-2020 приведены в таблице 1, соответственно, эксплуатационные показатели в таблице 2.

Таблица 1- Физические показатели асфальтобетонных смесей А16Вн

№ п/ п	Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020 для А16Вн	Фактическая величина показателя для смеси, содержание модификатора в смеси		
			Горячая, без модификатора	Горячая, 0,3 % РТЭП-М по массе	Теплая, 0,6 % РТЭП-М по массе
1	2	3	4	5	6
1	Объемная плотность, г/см ³	Не норм.	2,38	2,37	2,36
2	Максимальная плотность, г/см ³	Не норм.	2,49	2,47	2,47
3	Содержание воздушных пустот, %	2,5-4,5	4,06	4,1	4,5
4	Пустоты в минеральном заполнителе, %	Не менее 12	15,86	-	-
5	Пустоты, наполненные битумным вяжущим, %	67-80	75,41	-	-

Таблица 2 - Эксплуатационные показатели асфальтобетонных смесей А16Вн

№ п/ п	Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.2-2020 для А16Вн	Фактическая величина показателя для смеси, содержание модификатора в минеральной части смеси, % по массе		
			Горячая, без модификатора	Горячая, 0,3 РТЭП-М	Теплая, 0,6 РТЭП-М
1	2	3	4	5	6
1	Средняя глубина колеи, мм	не более 4,5	5,81	3,41	3,52

Результаты исследования А Алшахвана показали, что достижение требуемых показателей эксплуатационных свойств по ГОСТ Р 58406.2-2020 горячего асфальтобетона, приготовленного с использованием отечественных вязких дорожных битумов марок БНД и минеральных материалов, возможно путем применения недорогого и эффективного метода полимерно-дисперсного армирования асфальтобетона с использованием модификатора РТЭП-М. Путем дисперсного армирования с использованием модификатора РТЭП-М существенное повышение устойчивости к колесобразованию достигается не только для горячего, но и для теплого асфальтобетона на маловязком битумном вяжущем, полученном разжижением битума БНД 70/100 дизельным топливом до условной вязкости

250 × 0,1 мм. Величина показателя - средняя глубина колеи для горячего и теплого асфальтобетона с модификатором РТЭП-М существенно меньше, чем для контрольного состава А16В_н без использования модификатора. Исследования А. Алшахвана показали, что можно оптимизировать показатели структурно-механических свойств теплого асфальтобетона до нормативных требований ГОСТ Р 58406.2-2020, что позволит использовать ресурсосберегающие теплые асфальтобетонные смеси взамен горячих технологий при устройстве и ремонте дорожных покрытий

Применение метода полимерно-дисперсного армирования асфальтобетона на основе российского модификатора РТЭП-М, производимого по СТО 39952490-001-2020, позволяет широко использовать отечественные минеральные материалы и вязкие дорожные битумы марок БНД по ГОСТ Р 33133-2014 для приготовления горячих асфальтобетонных смесей, соответствующих нормативным требованиям ГОСТ Р 58406.2-2020, и устройства дорожных покрытий с нормативным сроком службы.

Профессор кафедры
строительства и эксплуатации
автомобильных дорог
ВГТУ, д.т.н.



Калгин Ю.И.

Аспирант кафедры
строительства и эксплуатации
автомобильных дорог



Алшахван А.

ООО «ПОЛИМЕРТЭК»

394026, г. Воронеж ул. Ф. Тютчева 93/3, пом. 2/1,
ИНН 3662276197 КПП 366101001 ОГРН 1193668022492
р/с 40702810602480001556 АО «АЛЬФА-БАНК», БИК 044525593, к/с 30101810200000000593

Исх. № 8
От 02.05.2023 г.

Ректору Воронежского Государственного
Технического Университета
Проскурину Дмитрию Константиновичу

Уважаемый Дмитрий Константинович!

Доводим до Вашего сведения, что в период 2021-2022 гг. нашей компанией было отгружено более 150 тонн РТЭП-М (Термоэластопалст резиновый) в различные регионы России.

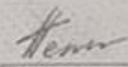
Наша композитная добавка применена при устройстве дорожно-асфальтного покрытия в Ростовской области (ООО «Компания Ростэс-Юг»), Воронежской области (ООО "БДРСУ №2"), Тамбовской области (ООО "Бондарская ДСПМК"), Липецкой области (ООО «Мегаполисстрой К», ООО «КИТ СТРОЙ»).

Все Покупатели очень довольны качеством поставляемой добавки. Со всеми контрагентами заключены долгосрочные договоры на поставку РТЭП-М.

С уважением,
Директор
ООО «ПОЛИМЕРТЭК»



Потников С. В.

RUSSIAN FEDERATION		№ 0161151
СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ «ПРОМТЕХСТАНДАРТ»		
№РОСС RU.32001.04ИБФ1 в едином реестре зарегистрированных систем добровольной сертификации ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ		
СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ		
	Регистрационный номер РОСС RU.32001.04ИБФ1.ОСП28.29174	
	Срок действия с 09.02.2023 по 08.02.2026	
<p>ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ № РОСС RU.32001.04ИБФ1.ОСП28, Общество с ограниченной ответственностью "Прогресс", Россия, 125367, город Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Покровское-Стрешнево, Полеский проезд, д. 16, стр. 1, помещение 9/1/2, офис 36, ИНН: 7733398635, ОГРН: 1227700834613, email: progress_reestr@yandex.ru</p>		
<p>ПРОДУКЦИЯ Термоэластопласт резиновый РТЭП-М. Серийный выпуск.</p>		код ОК 20.59.59.900
<p>СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ТУ 20.59.59-39952490-001-2020</p>		код ТН ВЭД
<p>ИЗГОТОВИТЕЛЬ Общество с ограниченной ответственностью «ПОЛИМЕРТЭК», Адрес: Россия, Воронежская область, город Воронеж, улица Ф. Тютчева д. 93/3, пом. 2/1. Фактический адрес: 394056, город Воронеж, улица Солдатское поле, д. 285/22, ИНН: 3662276197, ОГРН: 1193668022492, телефон: +7-920-433-42-54, электронная почта: polymertek@mail.ru</p>		
<p>СЕРТИФИКАТ ВЫДАН Общество с ограниченной ответственностью «ПОЛИМЕРТЭК», Адрес: Россия, Воронежская область, город Воронеж, улица Ф. Тютчева д. 93/3, пом. 2/1. Фактический адрес: 394056, город Воронеж, улица Солдатское поле, д. 285/22, ИНН: 3662276197, ОГРН: 1193668022492, телефон: +7-920-433-42-54, электронная почта: polymertek@mail.ru</p>		
<p>НА ОСНОВАНИИ Протокол испытаний № 26113-ПРГ723 от 08.02.2023, Испытательная лаборатория ООО «Прогресс», аттестат аккредитации № РОСС RU.32001.04ИБФ1.ИЛ58 от 2022-12-09.</p>		
<p>ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Схема сертификации: 2с (ГОСТ Р 53603-2020. Оценка соответствия. Схемы сертификации продукции в Российской Федерации).</p>		 Проверка подлинности сертификата соответствия
	Руководитель органа	 В.Ф. Петров <small>инициалы, фамилия</small>
	Эксперт	 Г.М. Заболошкая <small>инициалы, фамилия</small>
Сертификат не применяется при обязательной сертификации		
<small>Настоящий сертификат соответствия обязывает организатора поддерживать выпуск (реализацию) продукции в соответствии с вышеуказанным стандартом, что будет контролироваться под контролем органа по сертификации системы добровольной сертификации «ПромТехСтандарт» и подтверждаться при предъявлении ежегодного заявительского контроля</small>		



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ
«РОССИЙСКИЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»
(ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ «АВТОДОР»)

Страстной б-р, д. 9, Москва, 127006
тел.: (495) 727-11-95, факс: (495) 249-07-72
e-mail: info@ruhw.ru
www.ruhw.ru

26.05.2023 № 20186-ЭБ

на № _____ от _____

ИП-Управляющему
ООО «ПОЛИМЕРТЭК»

А.Г. Стефанову

394050, Воронежская обл., г. Воронеж,
ул. Федора Гюттча, д. 93/3, пом. 2/1

Уважаемый Арсений Георгиевич!

Рассмотрев материалы, представленные письмом от 1/11-22, согласовываем стандарты организации ООО «ПОЛИМЕРТЭК» СТО 39952490-001-2020 «Термоэластопласт резиновый РТЭП-М. Технические условия» и СТО 39952490-002-2021 «Добавка стабилизирующая «АБСпро». Технические условия» для добровольного применения на объектах Государственной компании сроком на один год с даты настоящего согласования.

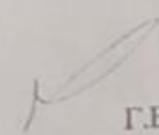
По истечению указанного срока в наш адрес необходимо направлять аналитический отчет:

- с результатами мониторинга и оценкой применения материалов в соответствии с требованиями согласованных стандартов на объектах Государственной компании и прочих объектах;

- по взаимодействию с ФАУ «РОСДОРНИИ» о включении продукции по СТО 39952490-001-2020 и СТО 39952490-002-2021 в Реестр новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений повторного применения (в случае соответствия критериям включения).

Контактное лицо: заместитель директора Департамента проектирования, технической политики и инновационных технологий Ильин Сергей Владимирович, тел. (495) 727-11-95, доб. 33-07, e-mail: S.Ilyn@russianhighways.ru.

Заместитель председателя правления
по эксплуатации и безопасности
дорожного движения


Г.В. Жилин

Каменева Виктория Андреевна
(495) 727-11-95 (31-44)