

На правах рукописи



АЛШАХВАН АЛАДДИН

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

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

АВТОРЕФЕРАТ
Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ВГТУ» ВГТУ)

Научный руководитель: **Калгин Юрий Иванович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Ядыкина Валентина Васильевна**
доктор технических наук, профессор кафедры
автомобильных и железных дорог им. А.М.
Гридчина, федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технический
университет им. В.Г.Шухова»

Андрианов Константин Анатольевич
кандидат технических наук, доцент, заведующий
кафедрой городского строительства и
автомобильных дорог, федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Гамбовский государственный
технический университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донской государственный технический
университет»

Защита состоится «20» декабря 2023 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.286.02, созданного на базе Воронежского государственного технического университета, по адресу: г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д.84, корпус 2, ауд.2226а.

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

Автореферат разослан «18» октября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.286.02,
к.т.н., доц.



С.В. Чуйкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. 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. Голубин.

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 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отмечаются научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе представлен анализ технической литературы и результатов российских и зарубежных исследований по технологиям приготовления теплых асфальтобетонных смесей, и определены преимущества их применения в дорожном хозяйстве САР при учете неудовлетворительного технического состояния дорожной сети Сирии в результате военно-политического противостояния.

В результате анализа исследований российских и зарубежных ученых обосновано, что снижение температуры приготовления и уплотнения асфальтобетонной смеси, достигаемое за счет использования теплых технологий, дает определенные преимущества: экологические, экономические, производственные, технические и др.

Проанализированы технологии модификации асфальтобетона и обосновано применение метода полимерно-дисперсного армирования (ПДА) с использованием модификатора РТЭП-М, который обладает положительным влиянием на физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетонных смесей. Дорожные покрытия из горячего асфальтобетона, модифицированного РТЭП-М, обладают

повышенной устойчивостью к колееобразованию, менее подвержены накоплению остаточных деформаций и усталостному трещинообразованию, более устойчивы к термоокислительному старению.

Основываясь на теоретическом обосновании преимуществ технологии производства теплого асфальтобетона и метода полимерно-дисперсного армирования была сформулирована **рабочая гипотеза исследований** – путем формирования модели эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона разработать ТАС, модифицированные методом ПДА, и обосновать целесообразность их применения для устройства и ремонта дорожных покрытий в условиях САР.

Во второй главе приведена обобщенная модель эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях САР. Разработана и обоснована методика оценки долговечности теплого модифицированного асфальтобетона с использованием климатической модели, имитирующей условия восточных и западных регионов Сирии.

При обосновании дорожной одежды с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона были выбраны условия, которые могут привести к наиболее опасному состоянию дорожных конструкций, что будет сопровождаться появлением и развитием процесса их разрушения. В качестве наиболее опасных условий эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона выбраны восточные регионы САР 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 рис. 1.

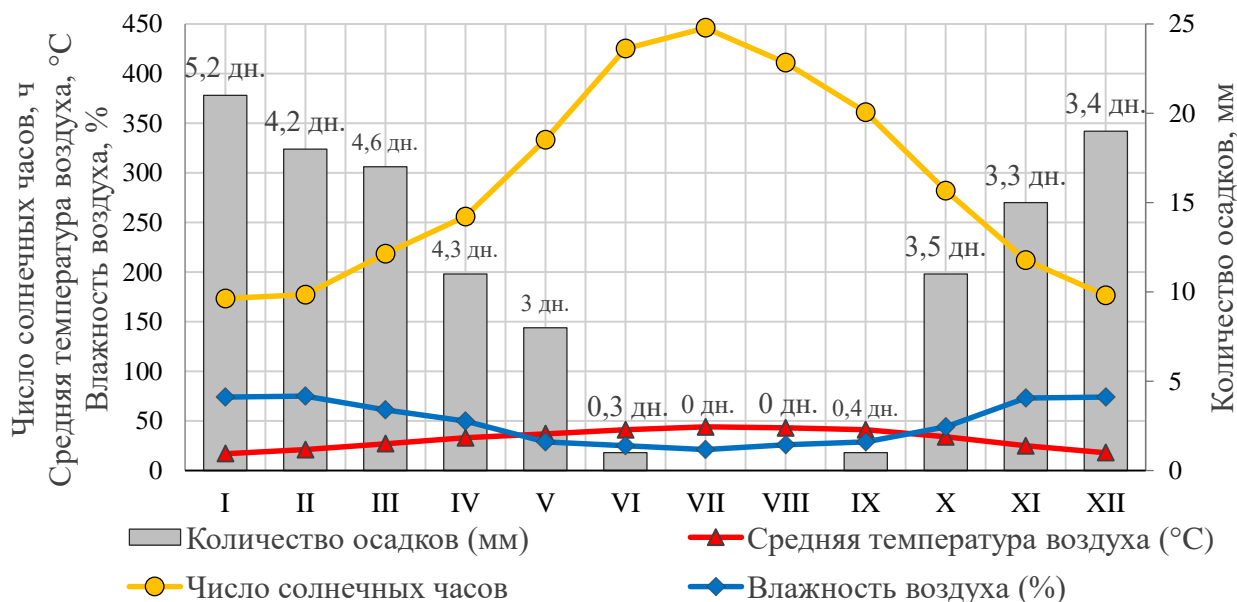


Рис. 1. Динамика изменения климатических факторов в восточных регионах Сирии

При прогнозе долговечности теплого асфальтобетона в дорожной конструкции в условиях САР отмечено, что наиболее опасным возможным дефектом покрытия признана колейность, которая является неизбежным признаком недостаточной прочности и сдвигустойчивости 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 колееобразования может быть представлен канонической моделью (рис. 2). Входные параметры модели можно представить как: факторы внешней среды X и транспортные нагрузки Y.

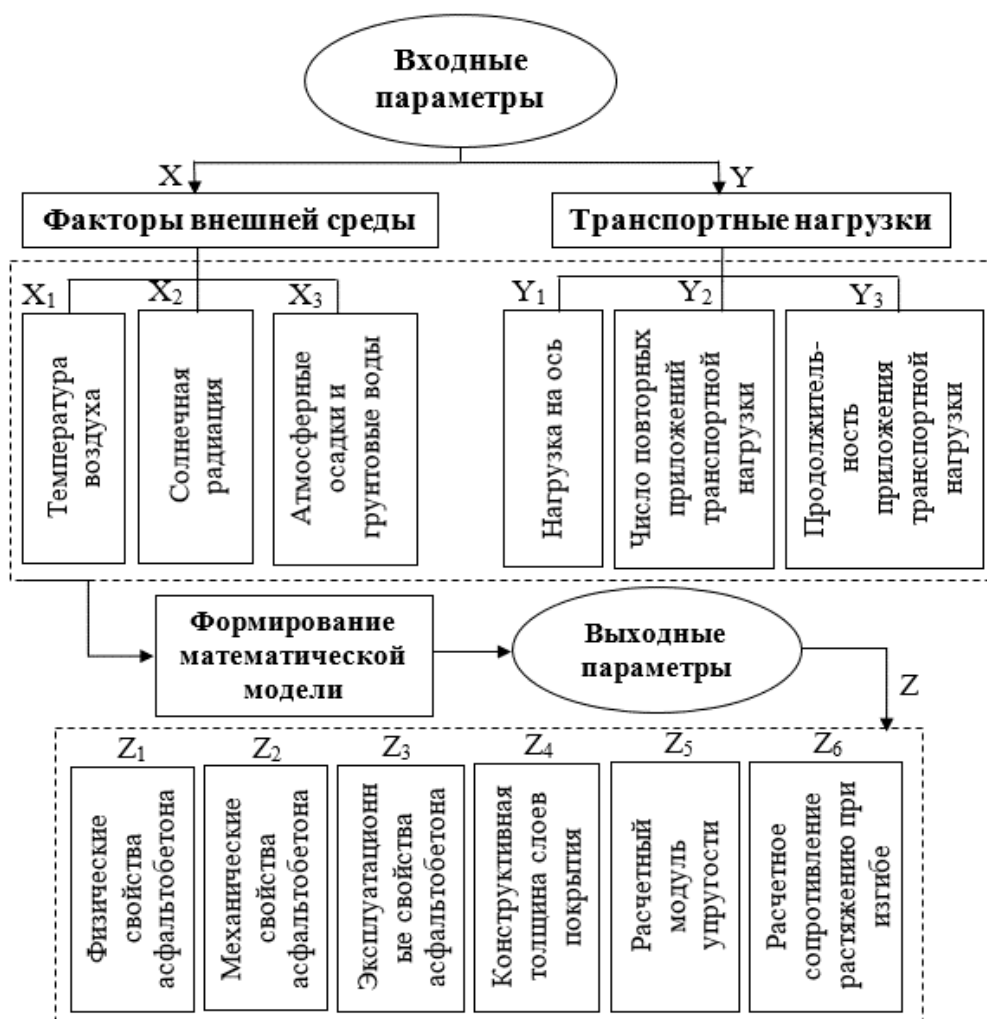


Рис. 2. Обобщенная модель эксплуатации дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона в условиях Сирии

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 климатические факторы: средняя температура воздуха изменяется от + 17 до + 44 °С, количество солнечных часов в месяц 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 учитывались: 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:

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

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

Свойства ТМА может подходить для условий одного региона Сирии и не подходить для другого, так как летние температуры и зимние существенно отличаются на востоке и западе страны, как по величине, так и по продолжительности. На рис. 3 представлена разработанная на основе литературных источников схема районирования САР по продолжительности и величине летних и зимних температур.

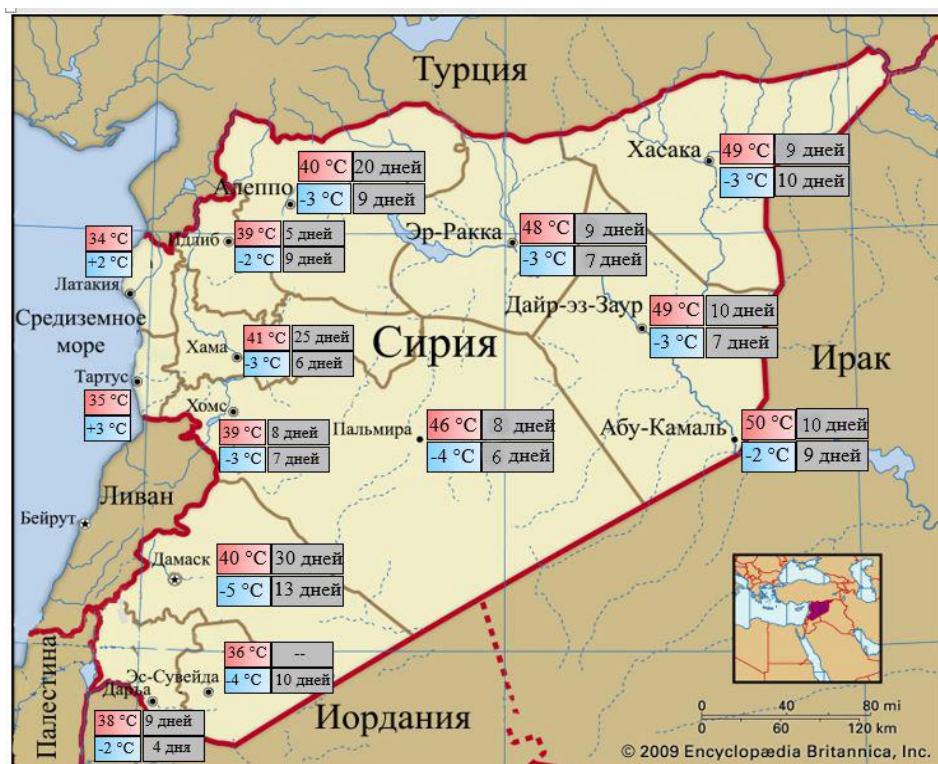


Рис. 3. Схема районирования Сирии по продолжительности и величине летних и зимних температур

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 они неустойчивы к климатическому старению. Поэтому, моделирование в лабораторных условиях климатического старения асфальтобетона или с помощью натурной экспозиции образцов сравнимых составов асфальтобетонных смесей в разных климатических зонах позволяет получить достоверную оценку долговечности материала в дорожном покрытии. 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. В модели представлены следующие этапы климатического старения: 1 этап - теплый весенний и начальный летний период - 70 дней при температуре 45 °C; 2 этап - наиболее жаркий летний период - 10 дней при температуре 60 °C; 3 этап - теплый период завершения лета и теплая осень - 60 дней при температуре 50 °C; 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 САР обоснована натурная экспозиция образцов асфальтобетона в период года с положительными температурами в климатических условиях Воронежской области РФ.

В третьей главе выполнено обоснование дорожной конструкции с покрытием из теплого асфальтобетона и доказана эффективность применения метода полимерно-дисперсного армирования для приготовления ТМА с модификатором РТЭП-М при строительстве автомобильных дорог в условиях Сирийской Арабской Республики.

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 «Дерь-Эзор – Пукамаль». На основе данных проектов строительства дорог в САР, была сформирована база данных по дорожно-строительным материалам и грунтам для восточных районов Сирийской Арабской Республики. Определена интенсивность движения, а также состав и характеристики автомобилей в транспортном потоке по автомобильной дороге «Дерь-Эзор – Пукамаль». Характеристики слоев асфальтобетонного покрытия сравниваемых вариантов дорожных одежд с покрытием из модифицированного и немодифицированного теплого асфальтобетона приведены в таблице 1 и слоев дорожного основания в таблице 2.

Таблица 1- Характеристики материалов слоев покрытия дорожной одежды

Номер слоя в схемах	Наименование материала	Толщина слоя, см	Расчетный модуль упругости, МПа			Расчетное сопротивление растяжению при изгибе, МПа
			Упругий прогиб, E	Сдвиг, Eсдв	Изгиб, Eраст	
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 2- Характеристики материалов 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

Результаты расчета дорожных конструкций сравниваемых вариантов приведены на рис. 4 и 5.

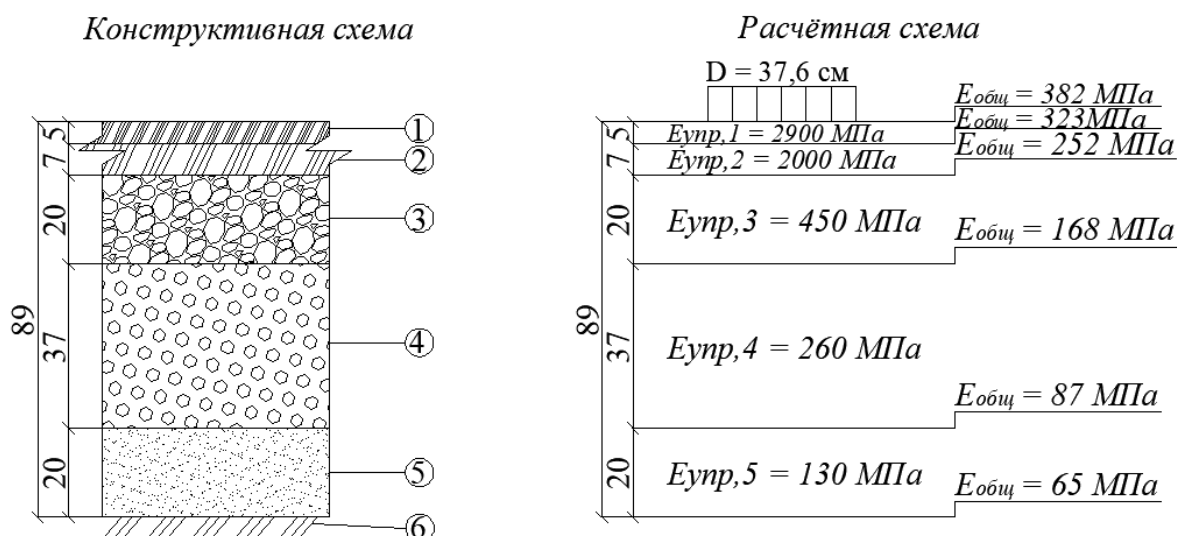


Рис. 4. Конструктивная и расчетная схемы дорожной конструкции с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона

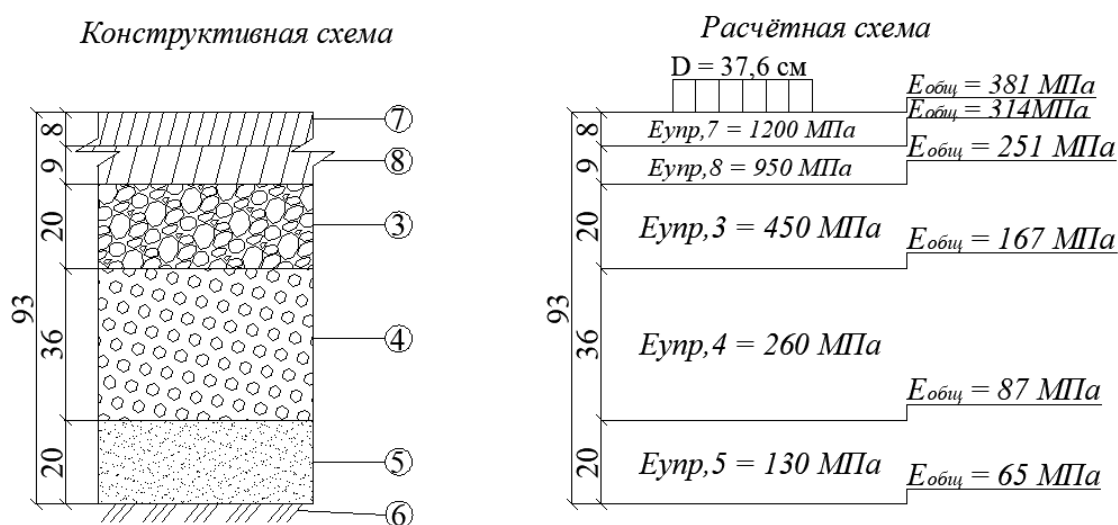


Рис. 5. Конструктивная и расчетная схемы дорожной конструкции с покрытием из теплого немодифицированного асфальтобетона

Как показали расчеты, конструкция с покрытием из теплого модифицированного асфальтобетона с общей толщиной 12 см является существенно более эффективной.

Использование не модифицированного 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.

При разработке составов ТМА 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 отсевов дробления гранита М 1000, неактивированный известняковый минеральный порошок. Термоэластопласт резиновый РТЭП-М, соответствующий требованиям СТО 39952490-001-2020, предоставлен производителем - ООО «ПОЛИМЕРТЭК» (г. Воронеж).

Для проведения эксперимента были подобраны рецепты и приготовлены: асфальтобетонная смесь плотная мелкозернистая тип Б по ГОСТ 9128-2009, асфальтобетонная смесь А16Вн по ГОСТ Р 58406.2-2020. Испытания исходных материалов, изготовление образцов и их испытания, обработка результатов выполнены в соответствии с требованиями стандартов. Оработана лабораторная методика приготовления ТАС с содержанием в минеральной части модификатора РТЭП-М, который вводился в холодном состоянии к горячим минеральным материалам при интенсивном перемешивании в лабораторном смесителе до тех пор, пока гранулы модификатора не будут видны в минеральной части смеси.

В ходе эксперимента осуществлен подбор контрольных составов горячего и теплого 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.

Таблица 3 - 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	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

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

Структурно-механические и физические свойства плотных мелкозернистых модифицированных ТАС типа Б по ГОСТ 9128-2009 с модификатором РТЭП-М приведены на рис. 6.

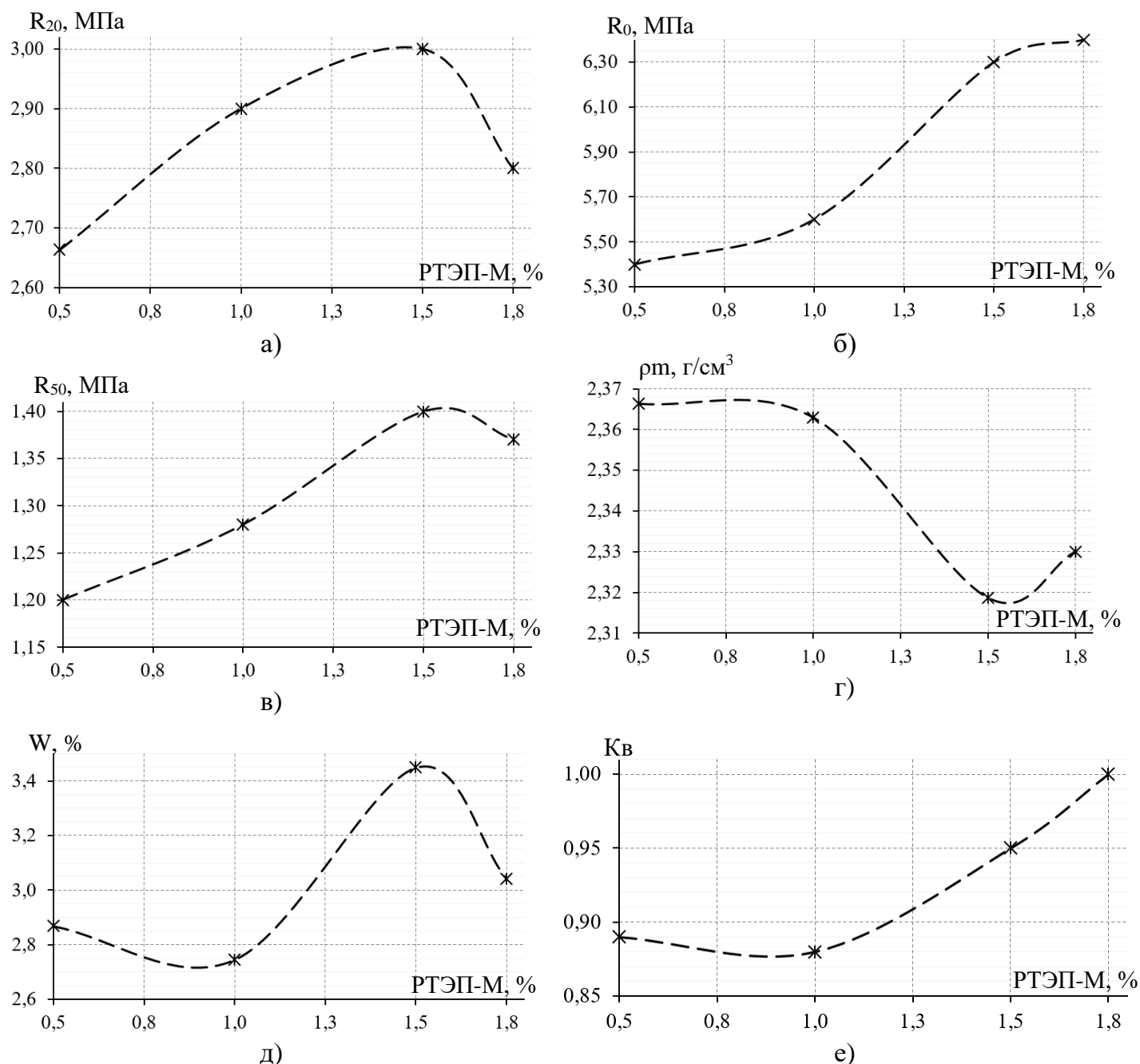


Рис. 6. Зависимость структурно-механических и физических свойств ТАС от содержания модификатора РТЭП-М. Предел прочности при сжатии при температуре а) 20°C; б) 0 °C; в) 50 °C; г) средняя плотность; д) водонасыщение; е) водостойкость

Введение модификатора РТЭП-М в теплую асфальтобетонную смесь повышает её показатели структурно-механических и физических свойств. Предел прочности при сжатии асфальтобетона возрастает во всей температурной области и наиболее

значительно при повышенных температурах, при этом несущественно увеличивается значения прочности при низких температурах, что означает требуемую трещиностойкость модифицированного асфальтобетона. Средняя плотность теплого асфальтобетона незначительно снижается при увеличении содержания модификатора РТЭП-М в минеральной части, особенно в количестве 1% и более. Водонасыщение существенно не зависит от количества РТЕП-М. Коэффициент водостойкости увеличивается с повышением содержания модификатора, что особенно заметно при его содержании в минеральной части 1% и более. 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.

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

В четвёртой главе обоснована долговечность модифицированных тёплых асфальтобетонных смесей в эксплуатационных условиях регионов САР и разработана технологическая основа процесса производства ТМА.

С использованием модели, приведенной во 2 главе, исследовано две группы образцов модифицированной ТАС и не модифицированной (контрольного состава). Результаты приведенного эксперимента показаны в таблице 4.

Таблица 4 - Физико-механические показатели теплого асфальтобетона до и после климатического старения (восточные регионы в САР)

№ 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
8	Среднее значение изменения массы, %	-0,017		-0,014	

При рассмотрении полученных зависимостей было отмечено, что произошло незначительное изменение массы образцов МТА и контрольного состава после климатического старения. Таким образом, верхний слой покрытия из теплого асфальтобетона показал достаточно высокую климатическую стойкость. Результаты эксперимента показали увеличение прочности теплого асфальтобетона и модифицированный состав ТАС продемонстрировал меньшую зависимость прочности

от температуры, чем контрольный состав. Повышение прочности асфальтобетона при температуре 20 и 50 °С приведет к снижению вероятности образования пластических дефектов дорожных покрытий. Показатель предела прочности при сжатии при повышенных температурах модифицированного состава ТАС значительно выше по сравнению с контрольным составом. Показатели физических свойств ТМА после всех этапов климатического старения изменились незначительно, что свидетельствует о некотором увеличении количества закрытых пор в граничных областях материала после длительного воздействия тепла.

В западных районах САР преобладающие климатические условия влажные и менее теплые. Оценка долговечности асфальтобетона в условиях западных регионов САР проводилась путем моделирования климатического старения с помощью натурной экспозиции образцов в условиях, близких к теплому и влажному климату. Образцы поместили для климатического старения в открытое место, подверженное воздействию погодных условий и циклов солнечного излучения - увлажнения в период с 15.03.2022 г. по 15.10.2022 г. в условиях теплого периода года в Воронежской области. Результаты испытания образцов теплых асфальтобетонов до и после климатического старения показаны в таблице 5.

Результаты эксперимента доказали стабильность показателей свойств теплового асфальтобетона, т.к. изменение массы асфальтобетона после климатического старения было незначительным и ее значения меньше в ТМА. Отмечена высокая стойкость ТМА по показателю предела прочности при сжатии от изменения температуры и, тем самым, более высокая устойчивость к пластическим деформациям дорожного покрытия. После климатического старения показатель предела прочности при сжатии при температуре 20 и 50 °С у контрольного состава ТАС снизились и перестали соответствовать требованиям ГОСТ 9128-2009, хотя исходные показатели свойств были в пределах нормативных требований.

Таблица 5 - Физико-механические показатели теплового асфальтобетона до и после климатического старения (западные регионы в САР)

№ 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
8	Среднее значение изменения массы, %	0,078		0,058	

Анализ результатов экспериментов по оценке эффективности применения теплого модифицированного асфальтобетона в различных климатических условиях САР с использованием лабораторно-натурного моделирования позволил разработать техническую карту, представленную на рис. 7, с указанием регионов, в которых рекомендуется применение ТМА в Сирийской Арабской Республике.



Рис. 7. Техническая карта регионов с рекомендуемым применением ТМА в Сирии
1) восточные регионы, 2) западные регионы и 3) центральные регионы

С помощью лабораторного оборудования имитационного моделирования была исследована устойчивость ТМА к колееобразованию в условиях интенсивного дорожного движения. В эксперименте были исследованы три асфальтобетонные смеси А16В_Н по ГОСТ Р 58406.2-2020: горячая без модификатора, горячая с РТЭП-М и теплая, модифицированная РТЭП-М. Физические свойства асфальтобетонных смесей приведены в таблице 6.

Таблица 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	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	-	-

Величина пластической деформации асфальтобетона в зависимости от количества циклов нагружения показана на рис. 8. Результаты испытаний образцов-плит приведены в таблице 7.

Глубина
колеи (мм)

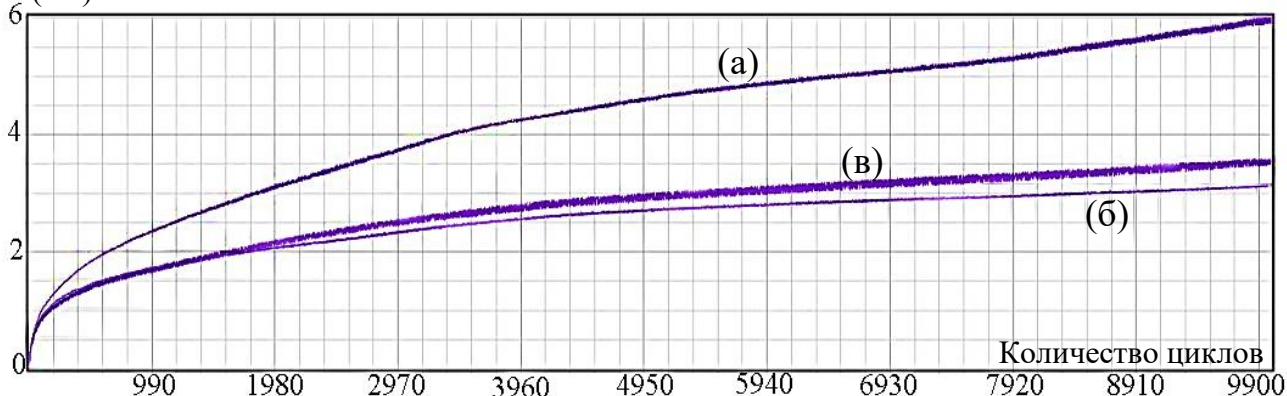


Рис.8. Зависимость глубины колеи от количества циклов а) ГАС без РТЭП-М; б) ГАС с РТЭП-М и в) ТАС с РТЭП-М

Таблица 7- Эксплуатационные показатели асфальтобетонных смесей А16В_н

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
Средняя глубина колеи, мм	не более 4,5	5,81	3,41	3,52

Установлено, что горячий асфальтобетон А16В_н без модификатора не соответствует нормативным требованиям по показателю средняя глубина колеи, что свидетельствует о недостаточной устойчивости ГАС контрольного состава 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. 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, что свидетельствует о высоком уровне структурно-механических свойств теплого модифицированного асфальтобетона для его эксплуатации в условиях интенсивных транспортных нагрузок.

Другие технологии производства не модифицированных 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 её 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 САР. На рис. 9 представлены этапы производства

модифицированной ТАС по теплой технологии с использованием разжиженного битума и модификатора РТЭП-М.

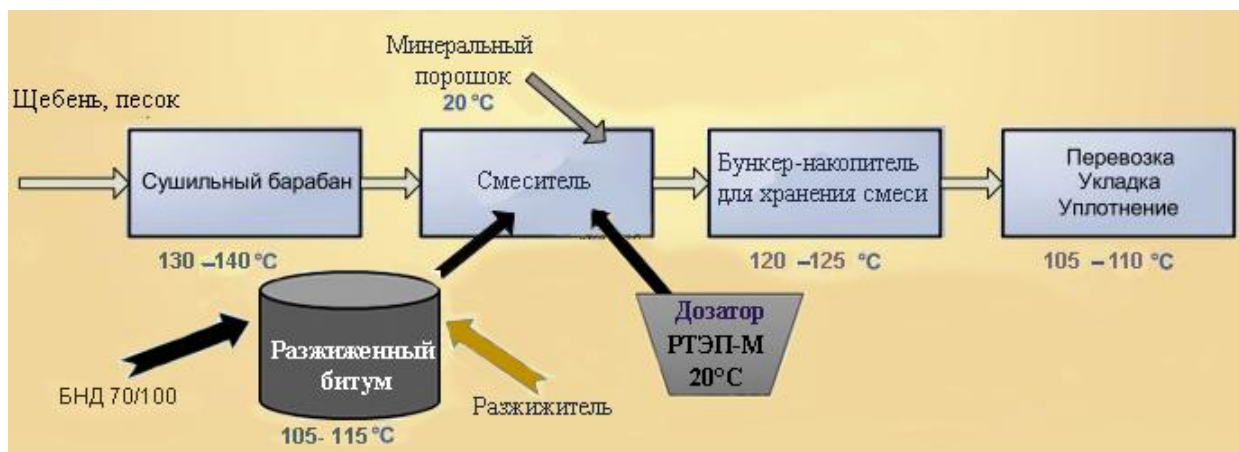


Рис.9 Схема техно-логического процесса производства ТАС, модифицированной методом полимерно-дисперсного армирования

Применение метода полимерно-дисперсионного армирования позволит использовать эффективную и ресурсосберегающую технологию ТАС при устройстве и ремонте дорожных покрытий в условиях Сирийской Арабской Республики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обоснована целесообразность применения теплого модифицированного асфальтобетона 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 использования 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 верхних слоях дорожной одежды.

3. 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 °C, 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 Сирии со снижением коэффициента температурной чувствительности ТМА с 4,5 до 3,6. 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.

4. 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. Разработан технологический процесс производства ТАС с РТЭП-М, что позволяет использовать эффективную и ресурсосберегающую технологию производства и применения ТМА для устройства и ремонта дорожных покрытий в условиях Сирийской Арабской Республики.

5. 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 Сирии с интенсивными транспортными нагрузками.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в следующих работах:

Статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК

1. **Алшахван, А.** Актуальность применения тёплых 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.

2. **Алшахван, А.** Улучшение структурно-механических свойств тёплого асфальтобетона методом полимерно-дисперсного армирования / А. Алшахван, Ю.И. Калгин // Научный журнал Строительство и архитектуры. - 2021. №. 1 (61). – С. 53 – 61.

3. **Алшахван, А.** Долговечность тёплых асфальтобетонных смесей дорожных покрытий в климатических условиях Сирийской Арабской Республики / Ю. И. Калгин, А. Алшахван // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2021. - № 8 (752). - С. 94-104.

4. **Алшахван, А.** 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.

5. **Алшахван, А.** Моделирование эксплуатации теплого асфальтобетона в условиях теплого и влажного климата районов Сирийской Арабской Республики / А. Алшахван, Ю.И. Калгин // Научный журнал Строительство и архитектуры. - 2023. №. 3 (71). - С. 68-73.

6. **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). - С. 66-74.

Статьи в изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science

7. **Alshahwan, A.** Improving the structural and mechanical properties of warm asphalt concrete by the method of polymer-disperse reinforcement / A. Alshahwan, Yu.I. Kalgin // Russian Journal of Building Construction and Architecture. - 2021. - No 2 (50). - Pp. 53-61.

8. **Alshahwan, A.** Structural and mechanical properties of modified hot and warm mix asphalt concrete / Yu.I. Kalgin, A. Alshahwan, N.I. Panevin // Russian Journal of Building Construction and Architecture. - 2023. - No 2 (58). - Pp. 71-75.

Публикации в других научных изданиях

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

10. **Алшахван, А.** Преимущества применения технологии тёплых асфальтобетонных смесей по сравнению с другими технологиями асфальтобетонных смесей / А. Алшахван, Ю.И. Калгин // Высокие технологии в строительном комплексе. - 2019. - № 2. - С. 19-25.

11. **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.

12. **Алшахван, А.** Влияние климатического старения на механические свойства теплового асфальтобетона в условиях Сирийской Арабской Республики / А. Алшахван // Высокие технологии в строительном комплексе. - 2022. - № 2. - С. 157-160.

АЛШАХВАН АЛАДДИН

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

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 16.10.2023 г. Формат 60x80/16. Усл. печ. л. 1,0.
Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ № 343.

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84