

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора
Любомирского Николая Владимировича, на диссертационную работу
Беспалова Виталия Леонидовича на тему:

**«ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ
ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ»,**

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия)

Представленная на рецензию диссертация состоит из введения, 5 основных разделов, выводов, 312 списка использованных источников и приложений А, Б, В, Г, Д. Общий объем работы составляет 329 страниц, в том числе 298 страниц основного текста, 39 полных страниц с рисунками и таблицами, 31 страница списка использованных источников, 6 страниц приложений. Также на рецензию представлен автореферат.

1. Актуальность темы исследования

В связи с возрастающими требованиями к нежестким дорожным одеждам автомобильных дорог актуальной задачей является разработка теоретико-экспериментальных принципов получения ресурсоэкономичных, технологичных и долговечных комплексно-модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности.

Для этого необходимо разрабатывать такие способы направленного регулирования структуры и свойств нефтяных дорожных битумов, которые бы позволили асфальтобетону, эксплуатируемому в покрытиях нежестких дорожных одежд в климатических условиях и грузонапряженности на автомобильных дорогах, в частности, Донецкой Народной Республики противостоять старению, сдвиговым деформациям, низкотемпературному и усталостному трещинообразованию и циклическим транспортным нагрузкам.

Соискатель обоснованно показал, что одними из эффективных полимеров-модификаторов нефтяных дорожных битумов и поверхности минеральных материалов являются бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 и этиленглицидилакрилат Элвалой АМ.

Разработаны технологии, обеспечивающие охрану окружающей среды и низкую энергоемкость процесса производства, укладки и уплотнения комплексно – модифицированных асфальтобетонных смесей с использованием техногенного сырья.

Установлено, что одним из самых эффективных дорожно-строительных материалов для строительства и ремонта покрытий нежестких дорожных одежд являются щебеночно-мастичные асфальтополимербетонные и асфальтосеробетонные смеси.

Таким образом, диссертационная работа Беспалова В.Л. весьма актуальна и соответствует заявленной специальности.

2. Структура и содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования; показана связь работы с научными программами, темами; приведены: научная новизна и практическое значение полученных результатов; положения, выносимые на защиту; обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций; апробация результатов диссертации; количество публикаций, структура и объем диссертации.

Целью исследования автор поставил теоретическое и экспериментальное обоснование способов получения ресурсоэкономичных, технологичных и долговечных комплексно-модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности путем установления закономерностей формирования структуры модифицированных органических вяжущих и контактной зоны на поверхности раздела фаз «комплексно-модифицированное органическое вяжущее – поверхностно-активированные минеральные материалы асфальтобетона».

В соответствии с поставленной целью соискатель сформулировал задачи исследования, которые при анализе результатов исследования нашли свое решение.

В первом разделе содержатся подробные сведения из литературных источников по изучаемой проблеме. Рассмотрено современное состояние научных исследований по повышению долговечности дорожных асфальтобетонов, а именно: «Напряженно-деформационное и атмосферное поведение, расчетные характеристики асфальтобетона в покрытиях автомобильных дорог»; «Роль матрицы асфальтобетона в формировании его свойств»; «Современные аспекты использования битумополимерных вяжущих для производства дорожных асфальтобетонов»; «Современные представления о влиянии активации межфазного контактного слоя в системе “органическое вяжущее – поверхность минеральных материалов” на свойства бетонных смесей и бетонов на органических вяжущих»; «Литые асфальтобетонные смеси и модифицированные аналоги для строительства и ремонта покрытий нежестких дорожных одежд», что позволило автору сформулировать цели и задачи работы и наметить пути дальнейших исследований.

Второй раздел посвящен теоретическим положениям диссертационной работы.

Современные представления об условиях работы асфальтобетонов в покрытиях нежестких дорожных одежд позволили: разработать конструктивно-функциональную схему асфальтобетона как открытой системы; обосновать способы направленного регулирования структуры асфальтобетона, например, микро-, мезо- и макроструктур; разработать концептуальные физико-химические модели формирования оптимальных структур асфальтовяжущих веществ, обеспечивающих повышенную долговечность дорожного асфальтобетона в условиях эксплуатации; оптимизировать составы и структуры систем: «битум – бутадиевметилстирольный каучук – техническая сера»; «битум –

этиленглицидилакрилат – шлам станций нейтрализации травильных растворов, активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол» с использованием регрессионного анализа параметров многокомпонентных систем с экспериментально-статистическим описанием областей допустимых значений факторов.

Во втором разделе диссертационной работы разработаны блок-схемы получения: горячей (литой) асфальтополимерсеробетонной смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой; горячей асфальтополимербетонной смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой, содержащей в качестве компонентов асфальтовязущего вещества техногенное сырье: шламы станций нейтрализации травильных растворов и полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол; горячей асфальтополимербетонной смеси (щебеночно-мастичной) с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105.

В третьем разделе приведены объекты и методы исследований.

В качестве органических вяжущих приняты нефтяные дорожные битумы марок: БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200.

Для комплексной модификации микро-, мезо- и макроструктуры асфальтобетонов использованы: типичный представитель термоэластопластов – каучук синтетический бутadiен-метилстирольный СКМС-30 АРKM-15, техническая сера, типичный представитель терполимеров – этиленглицидилакрилат, совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105. Использован известняковый минеральный порошок (МП), щебень и песок, которые получены дроблением и рассевом гранита Каранского карьера.

В диссертационной работе приняты горячие асфальтобетоны типов А, Б и ЦМА-10.

В качестве техногенного сырья использованы: шлам нейтрализации травильных растворов Харцызского сталепроволочно-канатного завода; полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол Горловского химзавода и опытного производства УкрНИИпластмасс.

Кроме стандартных методов, использован ряд специальных методов исследований: калориметрический (микрокалориметр ДАК-I-IA); электронномикроскопический (сканирующий микроскоп ИСИ-60А); инфракрасная спектроскопия (спектрометр Spekord IR-75); ротационная вискозиметрия (пластовискозиметр ПВР-2); рентгенофазовые (дифрактометр УРС-50) и др.; исследование усталостной долговечности при действии статических и динамических нагрузок в условиях двухстороннего изгиба выполнено на разработанной установке, которая позволяет исследовать стандартные образцы-балочки (16×4×4 см) в режиме постоянных циклических нагружений с определением количества циклов до разрушения и замеров величин прогиба образца. Стойкость к колееобразованию образцов асфальтобетона определяли на установке Infratest Кат. 20-4000 при температуре 60 °С, определяя глубину формирования колеи после 10000 и 20000 циклов прокатывания нагруженного колеса по EN12697-33. Для определения глубины вдавливания штампа при определении пластичности литых асфальтобетонов, подвижности

литых асфальтополимерсеробетонных смесей, устойчивости по Маршаллу, моделирования уплотняемости асфальтобетонных смесей на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» ГОУ ВПО «ДонНАСА» изготовлены приборы и оборудование в соответствии с нормативными документами.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных исследований

Автором установлено, что нефтяные дорожные битумы, бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 и этиленглицидилакрилат термодинамически совместимы.

С использованием экспериментально-статистического метода планирования эксперимента установлены рациональные концентрационные соотношения компонентов в системе «комплексно-модифицированное асфальтополимерсерное вяжущее вещество».

С использованием рентгенофазового и дериватографического анализа, а также электронной микроскопии определен химико-минералогический состав и морфология частиц шлама станций нейтрализации сталепроволочно-канатных заводов.

Установлены оптимальные концентрационные соотношения компонентов в системе «битум – этиленглицидилакрилат – шлам станций нейтрализации сталепроволочно-канатных заводов. Исследованы поверхностные явления, происходящие на поверхности раздела фаз в системах: «шлам нейтрализации – полимерсодержащий отход производства эпоксидных смол», «шлам нейтрализации, активированный ПОЭС – модифицированное органическое вяжущее».

Идентифицирован метакрилатный фрагмент этиленглицидилакрилата – «Элвалой АМ»: молекулярная масса $M = 842$; степень полимеризации $n \approx 10 \dots 20$; область плавления размыта, что свидетельствует о широком молекулярно-массовом распределении полимерных цепей, от $M \approx 8000$ до $M \approx 16000$.

Приведены реакции взаимодействия в системе «полимерсодержащий отход производства эпоксидных смол – этиленглицидилакрилат – полифосфорная кислота ПФК-105»: реакции конденсации, катионной полимеризации, реакции с карбоксилсодержащими группами битума, реакции этерификации гидроксил- и карбоксилсодержащих компонентов, взаимодействия глицидиловых групп ПФК с эпоксидными группами этиленглицидилакрилата в присутствии протодоноров при высоких температурах. Это приводит к структурированию модифицируемой системы «битум – этиленглицидилакрилат – ПФК». Изучены технологические свойства комплексно-модифицированных асфальтополимербетонных смесей.

Установлено, что комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны характеризуются повышенной плотностью, длительной водостойкостью ($K_{вд} > 0,96$), пределом прочности при 50°C $R_{50} = 1,7 - 2,3$ МПа, устойчивостью по Маршаллу $P = 19 - 30$ кН, коэффициентом теплового старения после 2000 часов прогрева в климатической камере ИП-1 при $T = 75^\circ\text{C}$ и ультрафиолетовом облучении $K_{ст} = 1,2 - 1,3$ против 1,6 для традиционных горячих асфальтобетонов.

В пятом разделе приведены результаты практического внедрения теоретических и экспериментальных исследований.

Итоги проведенных исследований подтверждены результатами

промышленных испытаний и внедрения. Разработаны технологии, обеспечивающие охрану окружающей среды и низкую энергоемкость процесса производства, укладки и уплотнения комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей с использованием техногенного сырья. Результаты исследований вошли в нормативные документы: ДСТУ Б В.2.7-119:2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный. Технические условия», инновационный проект, рекомендации по производству и применению модифицированных асфальтобетонов повышенной усталостной долговечности и рекомендации по производству асфальтобетонных смесей, модифицированных этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105.

Показана экономическая эффективность производства использования литых асфальтополимерсеробетонных смесей.

Теоретические положения, результаты научно-исследовательской работы соискателя используются в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» в ГОУ ВПО «ДОННАСА» в дисциплине «Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов»; по направлению 08.04.01 «Строительство» по программе «Теория и практика проектирования и строительства автомобильных дорог и аэродромов» в дисциплине «Современные композиционные материалы для дорожного строительства».

3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность полученных результатов подтверждается результатами, полученных современными методами исследований и статистической обработкой экспериментальных данных. Результаты теоретических исследований подтверждены сравнением с результатами экспериментальных исследований и промышленными испытаниями, а также с литературными данными отечественных и зарубежных исследователей.

Автором разработаны и реализованы новые научно-обоснованные технологические решения получения комплексно-модифицированных горячих, литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для устройства покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности, способных противостоять колейности, усталостному разрушению, трещиностойкости и термоокислению, в результате комплексной модификации органических вяжущих полимерами термодинамически совместимыми с нефтяными дорожными битумами: бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 совместно с технической серой; этиленглицидилакрилат Элвалой АМ с катализатором структурирования надмолекулярных образований высокомолекулярных веществ – полифосфорной кислотой ПФК-105 и формированием в битуме пространственной полимерной сетки с расчетным количеством узлов и кинетически гибких цепей из макромолекул и надмолекулярных образований с одновременной поверхностной активацией олигомерами или полимерами минеральных материалов асфальтобетонных смесей

С использованием экспериментально-статистического метода планирования

эксперимента установлено, что оптимальная массовая концентрация бутадиен-метилстирольного каучука СКМС-30 в битумах III структурно-реологического типа БНД 40/60, БНД 60/90 должна составлять 2–3 % мас., технической серы 25–30 % мас., а массовая концентрация СКМС-30 на поверхности минерального порошка 0,5 % мас. При данных концентрационных соотношениях формируется структурный слой модификатора, приводящий к усилению межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «битумополимерсерное вяжущее – поверхностноактивированный СКМС-30 минеральный порошок». Асфальтополимерсеробетонные смеси отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в диапазоне температур 60–130 °С. Асфальтополимерсеробетоны характеризуются широким интервалом вязкоупругого поведения. Температура перехода в вязкотекучее состояние 75 °С, устойчивость по Маршаллу 23 кН против 15 кН для традиционного горячего асфальтобетона. Они более долговечны, коэффициент старения при 75 °С и ультрафиолетовом облучении после 2000 часов прогрева составляет $K_{ст} = 1,25$, для стандартного асфальтобетона $K_{ст} = 1,6$; коэффициент водостойкости после 90 суток водонасыщения $K_{вд} = 0,87$, коэффициент морозостойкости после 100 циклов, $F = 0,83$, для стандартного асфальтобетона $F = 0,41$.

Установлены оптимальные концентрационные соотношения в системе «битум БНД 90/130 100 % мас. – этиленглицидилакрилат Элвалой АМ 1,5–2,5 % мас. – полифосфорная кислота ПФК-105 0,2–0,3 % мас.». При концентрации полимерсодержащего отхода производства эпоксидных смол 2–2,5 % мас. на поверхности шлама станций нейтрализации травильных растворов сталепроволочно-канатных заводов формируется оптимально-структурированный слой модификатора связанный межмолекулярными, водородными и донорно-акцепторными связями с поверхностью шлама. Модифицированные асфальтобетонные смеси характеризуются повышенной уплотняемостью в интервале 70–130 °С, а асфальтополимербетон устойчивостью по Маршаллу 19 кН, коэффициентом длительной водостойкости $K_{вд} = 0,98$, коэффициентом морозостойкости после 100 циклов $F = 0,79$, пределом прочности при сжатии при 50 °С $R_{50} = 1,7$ МПа.

С использованием методов реологии, ИК-спектроскопии, термогравиметрии, хроматографии, дериватографии, дифференциальной сканирующей калориметрии и электронной микроскопии доказано формирование адсорбционно-сольватных слоев комплексно-модифицированных органических вяжущих (битумополимерсерное вяжущее, нефтяной дорожный битум модифицированный этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой) на поверхности минерального порошка, активированного бутадиенметилстирольным каучуком или этиленглицидилакрилатом, связанных химическими и межмолекулярными связями с поверхностью частиц активированного МП.

Установлено, что в интервале температур от 20 °С до минус 10 °С усталостная долговечность асфальтобетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой значительно выше, в сравнении со стандартными асфальтобетонами. Повышение усталостной долговечности в 1,5–2 раза наблюдается у асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас.

этиленглицидилакрилата марки Элвалой АМ+0,2 % мас. ПФК-105, а минеральные материалы поверхностно-активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата и в 1,1 – 1,5 раза у комплексно-модифицированного асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 + 30 % технической серы, минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5 % мас. СКМС-30. Наибольшей усталостной долговечностью в условиях агрессивных химических сред (5 %-ный) раствор соляной кислоты (HCl) характеризуется литой асфальтополимерсеробетон.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

Осуществлено научно-обоснованное техническое решение получения ресурсоэкономичных и технологичных комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов повышенной долговечности. Предложены физико-химические модели с экспериментально-статистическим описанием оптимальных структур битумополимерных и битумополимерсерных вяжущих веществ, модифицированных бутадиенметилстирольным каучуком в комплексе с технической серой, этиленглицидилакрилатом совместно с полифосфорной кислотой, обеспечивающих повышенную долговечность асфальтобетона в конструктивных слоях дорожных одежд.

Сформулированы требования к модифицируемой среде – нефтяным дорожным битумам, модификаторам – полимерам и активным дисперсным наполнителям, а также к активаторам поверхности минерального порошка, песка и щебня, структуре битумополимерного вяжущего и комплексно-модифицированного асфальтобетона.

Выявлены закономерности структурообразования в системах: «нефтяной дорожный битум – бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 – техническая сера», «нефтяной дорожный битум – этиленглицидилакрилат АМ – полифосфорная кислота ПФК-105».

Определены оптимальные концентрационные соотношения в системах: «нефтяной дорожный битум БНД 40/60, БНД 60/90 (100% м.ч.) – бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 (2-3% мас.) – техническая сера (25-30% мас.)»; «нефтяной дорожный битум БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 130/200 (100% мас.) – этиленглицидилакрилат АМ (2-3% мас.) – полифосфорная кислота ПФК (0,2-0,3% мас.)»; на поверхности минерального порошка этиленглицидилакрилата (0,65-0,7% мас.) – песка (0,65-0,7% мас.) – щебня (0,65-0,7% мас.).

Установлено, что по атмосферостойкости, сдвигоустойчивости, морозостойкости, усталостной долговечности, в том числе и в агрессивных средах, комплексно-модифицированные асфальтобетоны значительно превосходят традиционные асфальтобетоны, используемые в покрытиях и конструктивных слоях нежестких дорожных одежд (ДСТУ Б.В.2.7-119:2011, ГОСТ 9128-2013).

5. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций,

сформулированных в диссертации, подтверждается продуманной постановкой цели работы, для достижения которой решались задачи, охватывающие вопросы, связанные с анализом литературных данных, изучением процессов и явлений, определяющих закономерности формирования структуры комплексно-модифицированных высокотехнологичных асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов повышенной долговечности, а также значениями экспериментальных данных с доверительной вероятностью $\Phi(t) = 0,95$, полученных на современных приборах, адекватностью статистических математических моделей структурным превращениям при модификации нефтяных дорожных битумов и контактной зоны минеральных материалов; соответствием результатов эксперимента теоретическим предпосылкам; опытным строительством и результатами обследования участков автомобильных дорог в течение 5-14 лет.

Замечания

1. При определении влияния модификаторов органических вяжущих и минеральных материалов на технологические свойства комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей, целесообразно было бы определить начальные периоды структурообразования асфальтополимербетонов.

2. Автор недостаточно установил влияние физико-минералогического состава техногенного сырья на свойства модифицированных органических бетонов.

3. Желательно было бы при планировании экспериментов для определения рациональных концентрационных соотношений в модифицированных системах принять большее количество факторов варьирования.

4. Соискатель в качестве комплексной модификации предлагает модифицировать не только нефтяной дорожный битум, но и минеральный порошок. Однако в диссертационной работе отсутствуют данные, характеризующие качество поверхностно-активированного минерального порошка в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-121:2014.

5. При рассмотрении явлений и процессов соискатель не рассмотрел влияния на формирование контактного слоя в системе «модификатор (бутадиенметилстирольный каучук, этиленглицидилакрилат, полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол) – поверхность минерального порошка» капиллярного и диффузионного массопереноса, возникновение градиента вещественного состава олигомер-полимерных модификаторов по толщине адсорбционно-сольватного слоя и связанные с ними явления градиентов объемных изменений. Рассмотрение этих процессов важно, потому, что они в значительной мере определяют монолитность и совместность работы структурирующих микроструктуры асфальтобетона в процессе противостояния асфальтобетона традиционным нагрузкам и погоднo-климатическим факторам.

6. В инновационном проекте отсутствуют мероприятия по предотвращению гранулометрической и температурной сегрегации литых асфальтополимерсербетонных смесей.


Заключение

Диссертационная работа Беспалова Виталия Леонидовича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Диссертация на тему «Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности», отвечает критериям и соответствует квалификационным признакам ВАК Российской Федерации п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановление правительства РФ №74 от 30 января 2002 г. и п. 2.2.1. «Типового регламента представления к защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук и проведения заседаний в советах на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук (утверждено Приказом Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики от 15 декабря 2015 года № 894).

Настоящим я, Любомирский Николай Владимирович, даю согласие на автоматизированную обработку персональных данных с указанием фамилии, имени, отчества.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры строительного
инжиниринга и материаловедения
Академии строительства и архитектуры
(структурное подразделение)
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Крымский федеральный университет
имени В.И. Вернадского»



Любомирский
Николай
Владимирович

«20» февраля 2019 г.

Подпись доктора технических наук, профессора Любомирского Н.В. заверяю:
проректор по научной деятельности
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет имени В.И. Вернадского»
доктор медицинских наук, профессор

А.В. Кубышкин

Адрес: 295007, Республика Крым, г. Симферополь,
проспект академика Вернадского, 4
E-mail: niklub.ua@gmail.com
Тел.: +79787436856

