

На правах рукописи



Ромасюк Евгений Александрович

**ДОРОЖНЫЕ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНЫ С КОМПЛЕКСНО-
МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ ПОВЫШЕННОЙ
УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Макеевка – 2016

Работа выполнена на кафедре автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Братчун Валерий Иванович,
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов.

Официальные оппоненты: **Подольский Владислав Петрович,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»,
заведующий кафедрой строительства и эксплуатации автомобильных дорог;

Золотарева Виктория Владимировна,
кандидат технических наук,
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского»,
доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров.

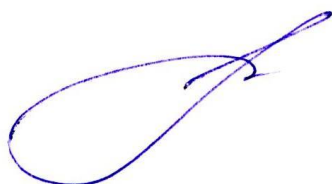
Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова».

Защита состоится «28» апреля 2016 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 01.006.02 Донбасской национальной академии строительства и архитектуры по адресу: 86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, зал учёного совета. Тел. факс: +38(0623) 22-77-19, e-mail: d01.006.02@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донбасской национальной академии строительства и архитектуры по адресу: 86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан « » марта 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 01.006.02



Назим Ярослав Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы на асфальтобетонных автомобильных дорогах первой, второй и третьей технических категорий Украины и России наблюдается значительный рост среднегодовой суточной интенсивности движения. При этом постоянно увеличивается доля большегрузных автомобилей, среди которых значительную часть занимают крупнотоннажные многоосные автопоезда, у которых нагрузка на ось колеса автомобиля достигает 115 кН. Вследствие этого дорожное покрытие испытывает воздействие многократных циклических нагрузок, которые приводят к развитию усталостных разрушений конструктивных слоев нежестких дорожных одежд. В результате комплексного воздействия атмосферных факторов и транспортных нагрузок снижается усталостная долговечность дорожного покрытия, возникают макроскопические трещины, увеличивается водопроницаемость слоев и, как следствие, снижается срок службы дорожного покрытия.

Степень разработанности темы исследования. Теоретической основой для выполнения исследований в области разработки составов комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной усталостной долговечности асфальтобетонов являются работы Г. С. Бахраха, В. И. Братчуна, Л. Б. Гезенцева, Л. М. Гохмана, В. А. Золотарева, Н. Н. Иванова, С. К. Илиополова, А. М. Кривисского, В. П. Подольского, А. В. Руденского, В. М. Смирнова, Б. Б. Телтаева, Е. В. Угловой, С. L. Monismith, P. Pell, P. S. Shaw и других отечественных и зарубежных исследователей.

К настоящему времени наиболее полно изучено влияние на усталостную долговечность величины частоты и времени действия нагрузки; количества циклов ее приложения; температурных условий испытаний. В то же время недостаточно изучено комплексное влияние действия водонасыщения и агрессивных сред, процессов старения органического вяжущего на усталостную выносливость асфальтобетона. Отсутствуют сравнительные данные о влиянии комплексного модифицирования макро-, мезо- и микроструктуры асфальтобетона различными комплексными добавками: полимер в комбинации с поверхностно-активными веществами (ПАВ), полимер в комплексе с активным наполнителем на усталостную долговечность асфальтобетона под действием кратковременных циклических и длительных статических нагрузок. Не достаточно изучена усталостная выносливость комплексно-модифицированных полимерами литых и щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА).

Целью исследования является разработка составов дорожных асфальтополимербетонных смесей с комплексно-модифицированной структурой для устройства покрытий нежестких дорожных одежд с повышенной усталостной долговечностью на основе изучения явлений и уточнения закономерностей процессов усталостного разрушения модифицированных асфальтобетонов под действием статических и кратковременных циклических нагрузок.

Объект исследования – дорожные асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной усталостной долговечности.

Предмет исследования – процессы и явления, определяющие закономерности усталостного разрушения асфальтополимербетона с комплексно-модифицированной структурой и повышения его усталостной долговечности в условиях действия длительных статических и кратковременно-циклических нагрузок.

Задачи исследования:

– выполнить анализ условий работы комплексно-модифицированного асфальтополимербетона в покрытии нежесткой дорожной одежды под действием статических и кратковременных циклических нагружений;

– сформулировать теоретические положения о закономерностях формирования структуры модифицированного асфальтобетона, обеспечивающей повышенную усталостную долговечность при длительном статическом и кратковременном циклическом нагружении;

– разработать методы испытания модифицированных асфальтовяжущих и асфальтобетонов на усталостную долговечность при растяжении на изгиб, отвечающих нагружению дорожного асфальтобетона в покрытии на основе разработанной модели напряженно-деформируемого состояния образца при испытании на лабораторной установке;

– установить взаимосвязь между деформационно-прочностными показателями модифицированных асфальтовяжущих с комплексно-модифицированной микроструктурой и асфальтополимербетонов на их основе при воздействии длительных статических и динамических нагружений;

– разработать и оптимизировать составы модифицированных долговечных асфальтобетонов, обеспечивающих усталостную долговечность в условиях действия длительных статических и циклических нагружений;

– исследовать усталостную долговечность комплексно-модифицированных асфальтобетонов при действии различных температур, нагружений, агрессивных сред.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

– получили дальнейшее развитие научные исследования проектирования составов дорожных асфальтополимербетонов с комплексно-модифицированной структурой, характеризующихся повышенной усталостной долговечностью, заключающиеся в модификации нефтяного дорожного битума этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой и поверхностной активацией щебня, искусственного песка и минерального порошка этиленглицидилакрилатом; асфальтополимерсеробетона, в котором нефтяной дорожный битум модифицирован бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 (2,0 % мас.) в комплексе с технической серой (30 % мас.), а поверхность минерального порошка активирована 0,5 % СКМС-30;

– исследованы низкотемпературные прочностные характеристики асфальтовяжущих с комплексно-модифицированной структурой в области отрицательных температур;

– определены оптимальные концентрационные соотношения в системах: «битум – этиленглицидилакрилат (2,0 % мас.) – полифосфорная кислота (0,2 % мас.) – этиленглицидилакрилат на поверхности минерального порошка (0,65 –

0,7 % мас.)»; «битум – этиленглицидилакрилат (2,0 % мас.) – полифосфорная кислота (0,2 % мас.) – поверхность минеральных материалов (щебень, песок, минеральный порошок) – этиленглицидилакрилат (0,7 % мас.)», а также оптимальное содержание модифицированного органического вяжущего в смесях, обеспечивающего максимальную усталостную долговечность модифицированного асфальтобетона;

- выполнен сравнительный анализ усталостной долговечности при воздействии кратковременных циклических и статических нагрузок асфальтобетонов, используемых для устройства покрытий нежестких дорожных одежд, а именно: асфальтобетонов типов «А» и «Б», литого асфальтополимерсеробетона, щебеночно-мастичного асфальтобетона и бетонов с комплексно-модифицированной структурой;

- показано, что по усталостной долговечности модифицированные этиленглицидилакрилатом асфальтобетоны значительно превосходят традиционные асфальтобетоны, используемые для строительства верхних слоев нежестких дорожных одежд (ДСТУ Б В.2.7-119:2011, ГОСТ 9128-2013);

- исследована усталостная долговечность комплексно-модифицированных асфальтобетонов с учетом влияния различных агрессивных сред (вода, растворы солей, кислот);

- изучена усталостная долговечность асфальтобетонов в зависимости от температуры производства асфальтобетонной смеси.

Практическое значение полученных результатов:

- для ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству и использованию модифицированных асфальтобетонов повышенной усталостной долговечности»;

- определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения асфальтополимербетонов повышенной усталостной долговечности для ПАО «Облдорремстрой»;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» в курсах «Строительное материаловедение» и «Физико-химическая механика строительных материалов».

Методы исследования. Теоретические положения сформулированы на основе положений реологии асфальтобетона, а также физической и коллоидной химии. Экспериментальные исследования выполнены с использованием стандартных и специальных методов: приборы Фрааса, Маршалла, для изучения усталостной долговечности. Для обработки и анализа результатов экспериментальных исследований использованы методы математической статистики.

На защиту выносятся:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований по получению составов асфальтобетонных смесей с комплексно-модифицированной структурой, обладающих повышенной усталостной долговечностью;

- методика испытания асфальтополимербетонов на усталостную долговечность от растягивающих напряжений при изгибе при действии кратковре-

менных циклических и статических нагрузок;

– значения усталостной выносливости асфальтополимербетонов с комплексно-модифицированной структурой при воздействии различных статических и кратковременных циклических нагрузок, температур, агрессивных сред.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: значениями экспериментальных данных, полученных с применением современных приборов; адекватностью статистических математических моделей структурным превращениям при комплексной модификации асфальтобетонов; соответствием результатов эксперимента теоретическим предпосылкам.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы доложены на: Всеукраинской интернет-конференции молодых ученых и студентов «Проблемы современного строительства» (Полтава, ПолНТУ, 21 – 22 ноября 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Строительство-2013. Строительство. Дороги. Транспорт» (Ростов-на-Дону, РГСУ, 2013 г.); Международной научно-технической конференции «Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог» (Харьков, ХНАДУ, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы физико-химического материаловедения» (Макеевка, ДонНАСА, 30 сентября – 4 октября 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Улучшение конструктивных, технологических и эксплуатационных показателей автомобильных дорог и искусственных сооружений на них в исследованиях студентов и молодых ученых» (Харьков, ХНАДУ, 2014 г.); Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли» (Горловка, АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», 21 – 22 мая 2015 г.); XII, XIII, XIV Международных научных конференциях молодых ученых, аспирантов и студентов (Макеевка, ДонНАСА, апрель 2013, 2014, 2015 гг.).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 14 печатных работах, в том числе в 7 рецензируемых научных изданиях: 6 работ опубликованы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных журналов, утвержденных МОН Украины; 1 – в издании, входящем в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденных ВАК РФ.

Общий объем публикаций – 4,57 п.л., из которых 2,3 п.л. принадлежат лично автору.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести основных разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы составляет 175 страниц, в том числе 145 страниц основного текста, 7 полных страниц с рисунками и таблицами, 16 страниц списка использованных источников, 7 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, приведены основные научные результаты, показано их практическое значение и область реализации.

В первом разделе рассмотрено современное состояние вопроса по повышению усталостной долговечности асфальтобетона модифицированием его структуры, а именно: условия работы асфальтобетона в покрытии нежесткой дорожной одежды под действием транспортных нагрузок; факторы, определяющие усталостную долговечность асфальтобетонных покрытий (внешние факторы – величина и количество прилагаемой статической или динамической нагрузки; погодные-климатические, тепловые, влажностные факторы; внутренние: свойства исходных материалов; гранулометрия минерального остова; структура и плотность асфальтобетона и органического вяжущего); рассмотрены основные критерии, характеризующие усталостную долговечность асфальтобетона; проанализированы способы повышения усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий нежестких дорожных одежд.

В работах Г. С. Бахраха, Л. Б. Гезенцева, В. А. Золотарева, Н. Н. Иванова, С. К. Илиополова, А. М. Кривисского, Б. С. Радовского, А. В. Руденского, А. О. Салля, В. М. Смирнова, Е. В. Угловой и др. показано, что асфальтобетон в процессе эксплуатации испытывает сложное напряженно-деформируемое состояние, вызванное одновременным появлением растягивающих и сжимающих напряжений при действии транспортной нагрузки, которая имеет циклический характер, при этом время действия нагрузки на покрытие составляет 0,1 – 0,4 с, а частотный спектр воздействия может варьироваться в пределах от 0,01 до 30 – 50 Гц.

Основные факторы, непосредственно влияющие на усталостную долговечность асфальтобетона, являются его структурные особенности (вязкость и качество органического вяжущего, минералогический состав щебня, песка, минерального порошка, плотность, пористость), величина и время действия циклических нагрузок, температурные и влажностные условия, процессы старения. Рост усталостных трещин при воздействии переменного нагружения происходит главным образом по пленочному битуму или по границе раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал». Следовательно, для повышения деформационно-прочностных свойств асфальтобетона в условиях действия динамических нагрузок, влаги, агрессивных сред необходимо модифицировать органическое вяжущее в направлении повышения термостабильности, расширения интервала пластичности, повышения адгезии и когезии органических вяжущих, эластичности, а также использовать асфальтобетоны с рациональным гранулометрическим составом, имеющих наиболее плотную структуру.

Основными критериями, характеризующими усталостную долговечность асфальтобетонов являются: количество циклов до разрушения и коэффициент усталости.

Наиболее существенного повышения деформационно-прочностных свойств асфальтобетонов возможно добиться комплексной модификацией микроструктуры асфальтобетона, а именно, введением в органические вяжущие таких полимерных добавок, как: термоэластопласты типа стирол-бутадиен-стирол (Kraton D 1101, Kariflex-TP, Styrelf 13); термопласты (EVA, полистирол, полиэтилен), терполимеры (этиленглицидилакрилат); латексы (Butonal) и др. и по-

верхностной активацией минеральных порошков ПАВ, растворами олигомеров и полимеров.

Во втором разделе сформулированы теоретические положения прогнозирования и получения асфальтобетонов, характеризующихся повышенной усталостной долговечностью.

Получение асфальтобетона для верхних слоев дорожных одежд, обладающего повышенной усталостной долговечностью, возможно при создании такой структуры асфальтобетона, которая рационально сочетает наиболее плотную упаковку полидисперсных частиц минерального остова (обеспечивается оптимальное сочетание микро-, мезо- и макроструктуры асфальтобетона) и непрерывную пространственную сетку эластичного органического вяжущего с высокими значениями адгезии и когезии при оптимальной толщине структурированного модифицированного органического вяжущего на поверхности минеральных материалов. В связи с тем, что важнейшей составляющей структуры долговечного асфальтобетона является контактная зона – зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов, регулирование свойств объемного и структурированного битума, а также интенсификация процессов взаимодействия на поверхности раздела фаз «битум – минеральный материал» позволит значительно повысить деформационно-прочностные свойства асфальтобетона.

Наиболее эффективными системами с повышенной усталостной долговечностью являются комплексно-модифицированные асфальтобетоны, которые должны сочетать комплексную модификацию минеральных материалов (в частности, активацию поверхности минерального порошка полимерными добавками), а также модификацию органического вяжущего полимерными или комплексными добавками.

В структуре асфальтобетона необходимо уменьшать количество пор и дефектов, которые способствуют концентрации внутренних напряжений в наиболее слабых ее местах, в результате чего усталостные трещины инициируются именно в этих областях. В связи с этим для получения долговечного асфальтобетона рекомендуется проектировать II тип макроструктуры асфальтобетона, который позволяет наиболее эффективно использовать как свойства пленочного битума, так и пространственного каркаса, образованного зернами щебня и способствующего повышению усталостной долговечности и сдвигоустойчивости при положительных температурах, за счет увеличения протяженности плоскостей скольжения и их шероховатости (достигаются максимальные значения модуля деформации, предела прочности, внутреннего трения и зацепления).

В качестве модифицируемой среды целесообразно использовать битум III структурного типа, который термостабилен, а мальтеновой части достаточно для растворения полимера до надмолекулярного и молекулярного уровней. В этом случае при модификации вяжущего полимерными добавками в битуме при оптимальной концентрации полимера образуется самостоятельная пространственная полимерная сетка, прочность которой будет определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность кинетической гибкостью цепей между узлами сетки.

Сформулированы теоретические положения относительно наиболее эффективных способов получения асфальтополимербетонов повышенной усталостной долговечности: комплексной модификацией микроструктуры асфальтобетона, а именно, нефтяного дорожного битума бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 совместно с технической серой, а минерального порошка – поверхностной активацией СКМС-30 из раствора в углеводородах и комплексной модификацией нефтяного дорожного битума этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой и поверхностной активацией щебня, искусственного песка и минерального порошка этиленглицидилакрилатом.

В третьем разделе приведены характеристики объектов и методов исследования.

В качестве объектов исследования приняты дорожные битумы БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, отвечающие требованиям ДСТУ 4044-2001 (ГОСТ 22245-90). Для комплексной модификации микро-, мезо- и макроструктуры асфальтобетонов использованы бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 АРКМ-15 ДСТУ 41138-98, техническая сера (ДСТ 127.1-93); этиленглицидилакрилат, отвечающий требованиям сертификата качества концерна производителя «DUPON» (США) совместно с полифосфорной кислотой ПФК-105 следующего состава (%): H_3PO_4 – 51, $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ – 42, $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ – 6, $\text{H}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ – 1.

Использован известняковый минеральный порошок (МП): содержание CaCO_3 – 99 %; удельная поверхность $S_{1,2} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$; средняя плотность – $2715 \text{ кг}/\text{м}^3$; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – $1880 \text{ кг}/\text{м}^3$; пустотность – 31,8 %; битумоемкость – 50 %. Минеральный порошок поверхностно активирован полимерными добавками (бутадиенметилстирольным каучуком, этиленглицидилакрилатом) из раствора в бензине.

Щебень и песок получены дроблением и рассевом гранита Караньского карьера (Донецкая область) со следующими показателями качества: дробимость – 6,2 % (марка щебня по прочности – 1400); истираемость щебня в полочном барабане – 2,3 %; насыпная плотность щебня – $1410 \text{ кг}/\text{м}^3$; истинная плотность – $2670 \text{ кг}/\text{м}^3$; морозостойкость, $F > 200$ циклов; содержание зерен лещадной и игольчатой формы – 6,5 %.

Гранулометрический состав минеральной части, принятых асфальтобетонов, представлен полными остатками на соответствующих ситах (мм). Асфальтобетон типа «А» (состав проф. В. А. Золотарева): 15...10 – 29 %; 10...5 – 21 %; 5...2,5 – 15 %; 2,5...1,25 – 1 %; 1,25...0,63 – 8 %; 0,63...0,315 – 11 %; 0,315...0,14 – 5 %; 0,14...0,071 – 3 %; минеральный порошок – 7 %. Тип «Б» (состав проф. В. А. Золотарева): 15...10 – 22,8 %; 10...5 – 17,2 %; 5...2,5 – 17,2 %; 2,5...1,25 – 12,8 %; 1,25...0,63 – 8,3 %; 0,63...0,315 – 6,5 %; 0,315...0,14 – 4,8 %; 0,14...0,071 – 3,2 %; минеральный порошок – 7,2 %. Литой асфальтобетон (состав проф. В. И. Братчуна): 15...10 – 22,8 %; 10...5 – 17,2 %; 5...2,5 – 12,8 %; 2,5...1,25 – 12,8 %; 1,25...0,63 – 7,3 %; 0,63...0,315 – 6,5 %; 0,315...0,14 – 3,1 %; 0,14...0,071 – 0 %; минеральный порошок – 17,5 %. Состав ЦМА-10: 15...10 – 50 %; 10...5 – 25 %; 5...2,5 – 5 %; 2,5...1,25 – 2 %; 1,25...0,63 – 2 %; 0,63...0,315 – 2 %; 0,315...0,14 – 2 %; 0,14...0,071 – 2 %; минеральный порошок – 10 %.

В диссертационной работе, кроме стандартных, использован ряд специальных приборов и методов исследования: исследование усталостной долговечности асфальтобетонов при действии статических и динамических нагрузок выполнено на разработанной установке (рис. 1), которая позволяет выполнять исследования стандартных асфальтобетонных образцов-балочек ($16 \times 4 \times 4$ см) в режиме постоянных циклических нагружений с определением количества циклов до разрушения и замером величин прогиба образца. Режимы циклического нагружения: нагрузка – от 0,1 до 0,5 с, отдых – от 0,2 до 0,9 с. Величина циклической нагрузки – 10 ... 50 % от разрушающей. Температурные режимы испытания: -20 °С, -10 °С, 0 °С, 10 °С, 20 °С. Схема приложения нагрузки (2-хточечная) с целью создания зоны постоянного изгибающего момента в балочке для обеспечения чистого изгиба образца, т.е. прогиба по линии окружности.

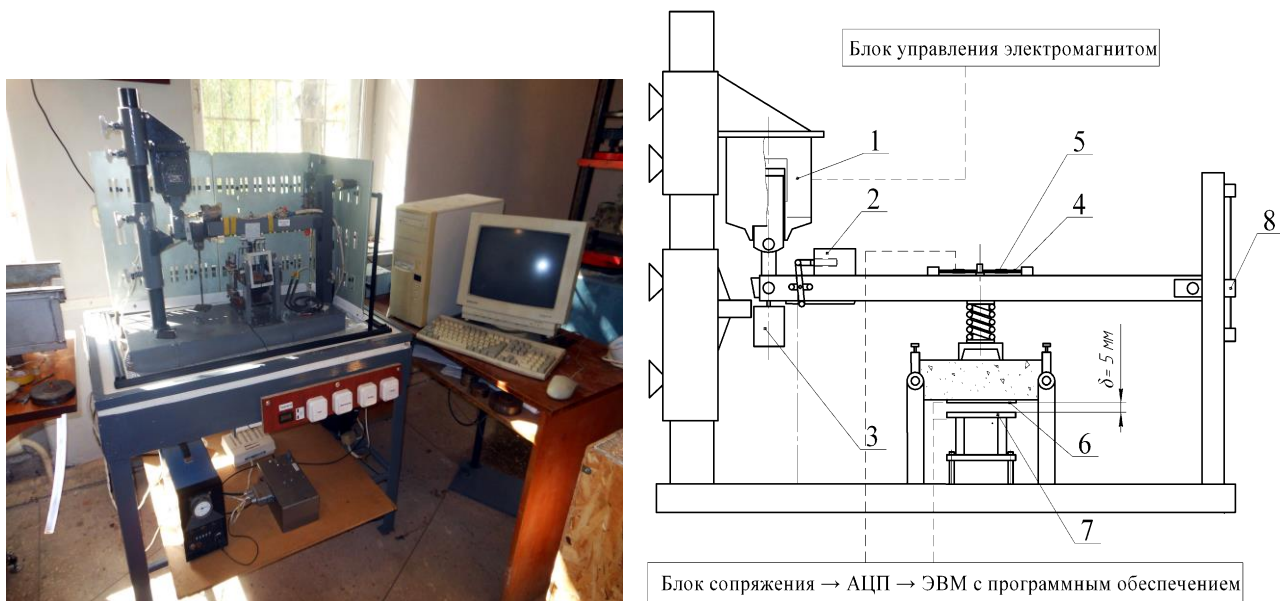


Рис. 1. Общий вид и схема установки для испытания асфальтобетона на усталостную долговечность: 1 – нагружающий электромагнит; 2 – электромагнит-защелка; 3 – груз; 4 – датчик измерения усилий; 5 – тензометрические датчики; 6 – токопроводящая пленка; 7 – датчик измерения прогиба; 8 – регулирующее устройство.

Исследование когезии модифицированных органических вяжущих и предела прочности на изгиб при растяжении асфальтобетонов выполнено на установках, разработанных в ХНАДУ (г. Харьков) и АДИ ГВУЗ «ДонНТУ» (г. Горловка).

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных исследований физико-механических и деформационно-прочностных свойств модифицированных нефтяных дорожных битумов, асфальтовяжущих веществ и асфальтобетонов.

Сравнительный анализ результатов испытаний модифицированных битумов показал, что принятые полимерные добавки позволяют расширить интервал пластичности в среднем на $10 - 15$ °С, битумополимерные вяжущие характеризуются эластичностью $70 - 80$ %, когезия модифицированных битумов в

1,5 – 1,7 раз выше по сравнению с немодифицированными.

Введение в битумы полимерных добавок и активация поверхности МП растворами полимеров позволяет повысить деформативность асфальто вяжущего при отрицательных температурах (рис. 2). Наибольшее снижение температуры хрупкости (на 4 – 6 °С) наблюдается у асфальто вяжущих с комплексно-модифицированной структурой, представленной системами «битум – МП, активированный раствором СКМС-30», «битум – СКМС-30 – техническая сера – МП, активированный раствором СКМС-30» и «битум – Elvaloy-AM – МП, активированный этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM». Установлено, что оптимальное количественное соотношение МП/Б находится в пределах от 75 % до 100 – 125 %.

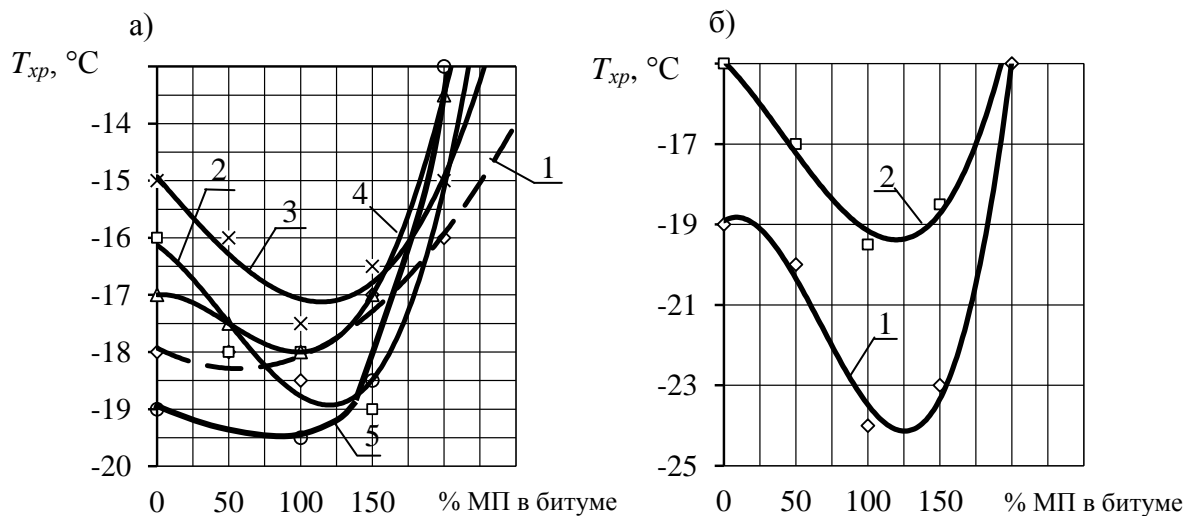


Рис. 2. Зависимость температуры хрупкости асфальто вяжущих с комплексно-модифицированной структурой (T_{xp}) от содержания МП в битуме БНД 90/130: а) на неактивированном МП: 1 – БНД 90/130; 2 – с 3 % Kraton D 1101; 3 – с 2 % Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК; 4 – с 3 % полиэтилена высокого давления (ПЭВД); 5 – с 2 % СКМС + 30 % тех. серы.; б) на активированном МП: 1 – битумополимерное вяжущее (2 % СКМС-30 + 30 % тех. серы.) + МП, активированный 0,5 % СКМС; 2 – битумополимерное вяжущее (2 % Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105) + МП, активированный 0,7 % Elvaloy-AM.

Понижение температуры стеклования нефтяного дорожного битума в асфальто вяжущем веществе обусловлено тем, что происходит блокирование поверхностью минерального порошка полярных групп органического вяжущего, которые определяют ассоциативную способность нефтяного битума при понижении температуры. В аналогичных олигомер-полимерных системах наиболее низкие значения температуры стеклования характерны для неполярных полимеров с гибкими макромолекулами, наиболее высокие значения – для полярных с жесткими макромолекулами. Как правило, введение наполнителя обычно приводит к повышению температуры стеклования (T_{cm}), однако при невысоких концентрациях минерального порошка T_{cm} может снижаться.

Комплексная модификация микроструктуры этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM, бутадиевметилстирольным каучуком СКМС-30, термоэластопластом Kraton D 1101 позволяет улучшить основные физические и деформационно-

прочностные свойства асфальтовяжущих, благодаря чему предел прочности при сжатии повышается в 1,1 – 1,9 раз. Установлено, что оптимальная концентрация битума в асфальтовяжущих находится в пределах от 13 – 14 % до 15 – 16 % и зависит от вязкости битума или битумополимерного вяжущего, а также от степени структурированности минеральным порошком органического вяжущего.

Характерно, что для повышения усталостной долговечности мелкозернистых асфальтобетонов оптимальное содержание органического вяжущего в смеси повышается в среднем на 0,5 – 1 % мас. Это обусловлено более полным заполнением пор битумом в структуре материала и, следовательно, меньшим количеством участков концентрации критических напряжений.

При определении оптимальной концентрации этиленглицидилакрилата на поверхности МП выполнено экспериментально-статистическое моделирование.

Факторы варьирования, которые действуют на систему «битум – активированный минеральный порошок»: X_1 – массовая концентрация Elvaloy-AM на поверхности МП; X_2 – массовая концентрация битума в асфальтовяжущем веществе. Параметры оптимизации: предел прочности при сжатии образцов асфальтовяжущих при 0 °С (Y_1), R_0 , не более 6,5 МПа; средняя плотность (Y_2), ρ_{cp} , не менее 2,21 г/см³.

Регрессионный анализ выполнен с использованием программы MathCAD 14.0. Получены уравнения регрессии в виде полиномов второй степени. Например, для предела прочности при сжатии при 0 °С, уравнение регрессии имеет вид полинома второй степени:

$$Y_2(X_1, X_2) = -0,247 + 0,345x_1 - 1,306x_2 - 0,012x_1^2 - 0,116x_2^2 - 0,186x_1x_2 + 0,0064x_1^2x_2 - 0,008x_1x_2^2. \quad (1)$$

Установлено, что оптимальная массовая концентрация Elvaloy-AM на поверхности минерального порошка составляет 0,65 – 0,7 %. При бóльших концентрациях (1,25 %) наблюдается избыток активатора Elvaloy-AM, выраженное в явлении слипания активированных частиц МП между собой в виде «горошинок», что приводит к снижению прочности из-за появления плоскостей скольжения по полимолекулярным слоям этиленглицидилакрилата.

Для мелкозернистых асфальтобетонов (типы «А» и «Б»), содержащих в своем составе битумополимерное вяжущее: битум БНД 60/90 ($\Pi_{25} = 67 \times 0,1$ см), модифицированный 2 % этиленглицидилакрилата в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105 (0,2 % мас.), оптимальная концентрация составила 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата на поверхности минеральных материалов: щебня, песка, минерального порошка. Для литого асфальтополимерсеробетона, содержащего в своем составе битум БНД 60/90, модифицированный 2 % бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 в комбинации с технической серой (30 % мас.), оптимальная концентрация СКМС-30 на поверхности минерального порошка составила 0,5 % мас.

В пятом разделе приведены результаты экспериментальных исследований усталостной долговечности модифицированных асфальтобетонов с учетом влияния различных факторов.

Для оценки влияния температуры приняты следующие режимы испытаний: температуры: + 20 °С; + 10 °С; 0 °С; – 10 °С. Величина растягивающих напряжений от кратковременной циклической нагрузки находится в пределах от 0,2 МПа до 1,0 МПа.

Режим действия кратковременной нагрузки: 0,1 с – нагружение; 0,9 с – отдых, т.е. циклическая нагрузка с частотой в 1 Гц.

В качестве критерия отказа (разрушения) асфальтобетонного образца под действием кратковременных циклических и статических нагрузок принят прогиб балки величиной 4 мм. Как показали визуальные наблюдения такой прогиб достаточен для появления магистральных усталостных трещин в диапазоне температур от +20 °С до минус 10 °С.

Значения коэффициента усталостной долговечности (табл. 1) рассчитывали по формуле проф. А. В. Руденского:

$$\operatorname{tg} \alpha = m = \frac{\lg \sigma_1 - \lg \sigma_2}{\lg N_2 - \lg N_1}, \quad (2)$$

где m – коэффициент усталости;

N_2 – количество циклов до разрушения при напряжении σ_2 ;

N_1 – количество циклов до разрушения при напряжении σ_1 .

Таблица 1

Значения коэффициента усталостной долговечности

Температура испытания, °С	Коэффициенты усталостной долговечности (m) асфальтобетонов следующих типов				
	Тип «А»	Тип «Б»	Тип «Б» + Elvaloy-AM	Литой асфальтобетон + СКМС-30	ЩМА- 10
+20	0,65	0,67	0,60	0,57	0,83
+10	0,56	0,59	0,48	0,55	0,80
0	0,52	0,48	0,40	0,49	0,56
-10	0,46	0,39	0,27	0,29	0,40

Асфальтобетоны типов «А» и «Б» (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) (рис. 3) характеризуются меньшим количеством циклов до разрушения крупнозернистого асфальтобетона при заданных напряжениях, чем среднезернистого, и характеризуется, вероятно, большей интенсивностью разрушения в связи с более высоким количеством пор и пустот внутри материала из-за повышенного содержания крупного минерального заполнителя. При этом коэффициенты усталости для обоих типов асфальтобетонов отличаются незначительно.

Большой выносливостью в сравнении с традиционными асфальтобетонами (ДСТУ Б.В.27-119:2011) при всех температурах испытания обладает ЩМА, несмотря на повышенное содержание крупных фракций щебня. Это обусловлено тем, что несколько повышенное содержание битума в асфальтовязующем, по сравнению с мелкозернистым асфальтобетоном, снижает количество пор и пустот внутри структуры материала. Но, в то же время, на всех графиках заметно,

что линия наклона усталостной долговечности к линии абсцисс имеет более пологий угол по сравнению с другими асфальтобетонами, поэтому коэффициент m для ЦМА оказался самым высоким из всех типов асфальтобетонов.

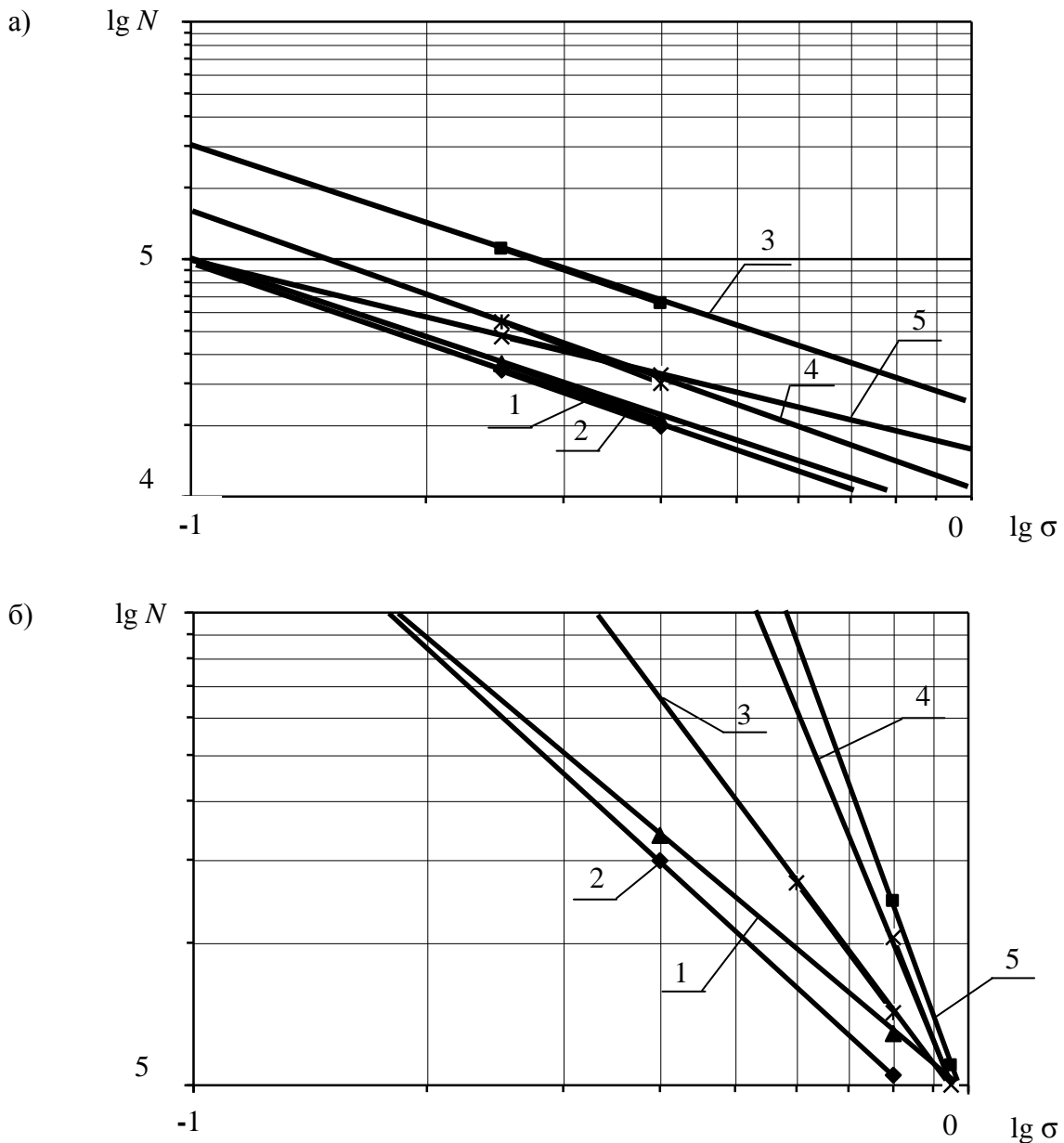


Рис. 3. Усталостная долговечность асфальтобетонов (N): а) 20 °С; б) минус 10 °С. 1 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «А»); 2 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б»); 3 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б»), с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM; 4 – литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой СКМС-30. 5 – ЦМА-10 с добавкой Antrocel-G.

Литой асфальтополимерсеробетон характеризуется в среднем на 20 – 30 % более высокой усталостной долговечностью по сравнению с обычными бетона-

ми, что выражается и в пониженных коэффициентах усталостной долговечности. При положительных температурах (+20 °С, +10 °С) коэффициент усталостной долговечности составил в среднем 0,56, а при минус 10 °С – 0,29.

Самой высокой усталостной долговечностью характеризуется асфальтополимербетон типа «Б» с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM в комбинации с полифосфорной кислотой (рис. 3). Это подтверждает высказанное предположение о том, что оптимальная концентрация Elvaloy-AM (2,0 % мас. и 0,2 % полифосфорной кислоты (ПФК-105)) в модифицированном битуме и структурно-упрочненный слой этиленглицидилакрилата на поверхности поверхностноактивированного минерального материала обеспечивают прочную пространственную матрицу, благодаря чему коэффициенты усталости у данного типа асфальтобетона имеют минимальные значения, по сравнению со всеми другими типами исследуемых асфальтобетонов.

Согласно термофлуктуационной теории прочности Я. И. Френкеля, С. Н. Журкова напряжение σ в результате внешних нагрузок, распределяясь по межатомным связям, несколько ослабляет силы сцепления атомов, снижая потенциальный барьер, что достигается некоторым раздвижением атомов. Существование энергетических флуктуаций приводит к тому, что при пониженном внешней силой потенциальном барьере резко учащаются случаи разрыва межатомных связей.

Особенно важно то, что внешняя сила определяет направленность процесса. Если в отсутствие силы распад связей хотя и редко, но происходит, то он компенсируется восстановлением связей, и разрушение асфальтобетона не происходит. При приложении силы не только облегчается распад связей, но и затрудняется их восстановление, поэтому идет необратимое разрушение асфальтобетона.

Таким образом, усталостная долговечность асфальтобетонов при кратковременных циклических нагрузках в значительной мере зависит от структуры минерального остова и находится в прямой зависимости от адгезионно-когезионных свойств и эластичности пленочного битума. Чем выше данные показатели у модифицированного битума, тем большей усталостной долговечностью он будет обладать при воздействии динамических нагрузок.

При статическом нагружении усталостная долговечность имеет аналогичный характер с зависимостями при циклическом нагружении. Характерно, что асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой, особенно асфальтобетоны, комплексно-модифицированные этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой, в среднем на 50 – 90 % имеют более высокую долговечность.

Исследование усталостной долговечности при более высоких температурах (40 °С, 50 °С, 60 °С и более) не предоставляется возможным выполнить, т.к. в данном случае сильное влияние оказывает собственный вес образцов-балочки, из-за которого быстро накапливаются пластические деформации, поэтому определить количество циклов до разрушения с необходимой точностью затруднительно. Характеристикой, которая позволяет косвенно оценить прочность асфальтобетона при высоких положительных температурах является испытание по методике Маршалла на устойчивость, условную пластичность и условную жесткость (табл. 2).

Таблица 2

Значение показателей, характеризующих сдвигоустойчивость бетонов на органических вяжущих по Маршаллу (температура испытания 60 °С)

№ п/п	Состав асфальтобетонной смеси	Условная пластичность, $l/10$, мм	Устойчивость, P , Н	Условная жесткость, A , Н/мм
1	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип «Б»), приготовленная на битуме БНД 60/90; минеральный порошок – известняковый неактивирован.	46	15256	3316
2	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип «Б»), приготовленная на битумополимерном вяжущем (БНД 60/90 с 2,0 % бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 и 30 % технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно активирован 0,5 % СКМС-30.	39	22981	5892
3	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип «Б»), приготовленная на битуме БНД 60/90, который модифицирован 2,0 % этиленглицидилакрилата в комбинации с 0,2 % полифосфорной кислоты ПФК-105; минеральные материалы поверхностно активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата.	37	30000	8108
4	Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь, приготовленная на битуме БНД 60/90; минеральные компоненты поверхностно неактивированы.	46	12580	2735
5	Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь, приготовленная на битуме БНД 60/90, который модифицирован 2,0 % этиленглицидилакрилата в комбинации с 0,2 % полифосфорной кислоты ПФК-105; минеральные материалы поверхностно активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата.	42	20100	4786

Асфальтополимербетоны и ЩМА с комплексно-модифицированной структурой характеризуются в 1,5 – 2 раза большей сдвигоустойчивостью при высоких температурах по сравнению с горячим мелкозернистым бетоном типа «Б».

Асфальтополимербетон с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом характеризуется большей устойчивостью к возникновению пластических деформаций, по сравнению с традиционным горячим асфальтобетоном (рис. 4).

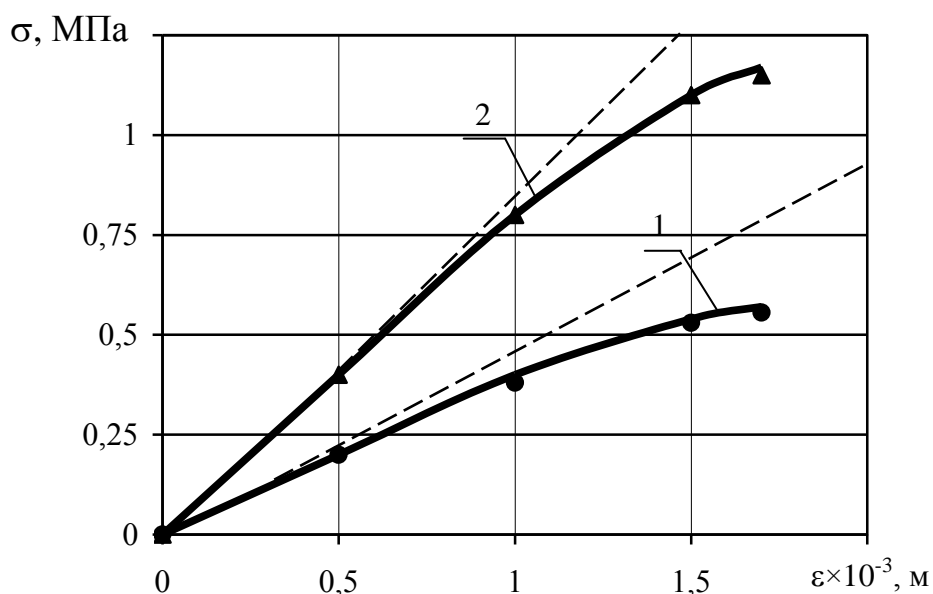


Рис. 4. Зависимость между напряжением (σ) в мелкозернистом асфальтобетоне (тип «Б») и деформацией (ϵ) при частоте деформирования 0,5 Гц и температуре 20°C: 1 – вяжущее в асфальтобетоне – нефтяной дорожный битум $P_{25} = 67$ град. шкалы пенетрометра; минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее в асфальтополимербетоне – нефтяной дорожный битум $P_{25} = 67$ град. шкалы пенетрометра модифицирован 2 % мас. этиленглицидилакрилатом + 0,2 % ПФК-105, минеральные компоненты активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилата.

Характерно, что водонасыщение асфальтобетонов и, прежде всего, традиционных резко снижает усталостную долговечность. Так, количество циклов до разрушения горячего асфальтобетона типа «Б» после 30 суток водонасыщения уменьшилось на 30 %. Значительно более стойкими к водной среде оказались асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой. Снижение количества циклов до разрушения асфальтобетона комплексно-модифицированного этиленглицидилакрилатом составило не более 10 %.

Модифицированный литой асфальтобетон закономерно имеет большую стойкость к воздействию водонасыщения (снижение долговечности составило около 2 %) (рис. 5).

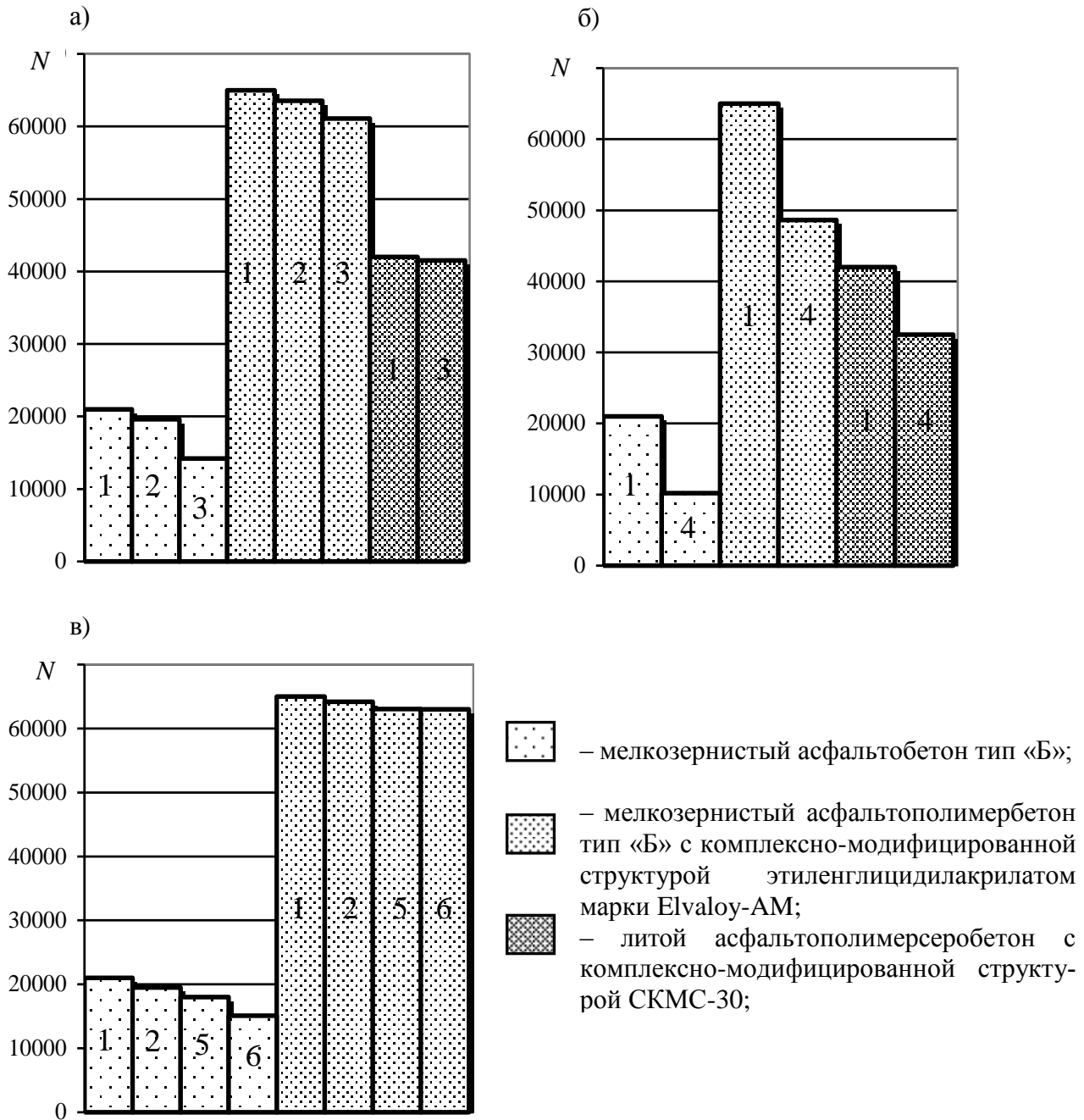


Рис. 5. Сравнение значений усталостной долговечности различных типов асфальтобетонов (N) (время нагружения 0,1 сек, напряжение – 0,4 – 0,45 МПа при температуре + 20 °С) в зависимости от воздействия различных агрессивных сред: а) в зависимости от времени водонасыщения; б) после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания; в) в зависимости от воздействия на них в течении 15 суток агрессивных сред: 1 – усталостная долговечность асфальтобетона в нормальных условиях; 2 – после водонасыщения 15 суток; 3 – после водонасыщения 30 суток; 4 – после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания; 5 – после 15 суток в водном 5 % растворе NaCl; 6 – после 15 суток в водном 2 % растворе HCl.

Это свидетельствует о том, что комплексная модификация структуры литого асфальтобетона бутадиенметилстирольным каучуком привела к повышению адгезии и когезии структурированного модифицированного вяжущего, что позволило значительно снизить количество внутрискелетных пор и пустот бетона, и, следовательно, снизить водонасыщение и набухание материала.

Аналогично наблюдается снижение усталостной долговечности исследуемых асфальтобетонов после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания (рис. 5):

- 1) замораживание – в течение 12 ч при температуре минус 18 °С;
- 2) оттаивание (полное размораживание) – в течение 12 ч при комнатной температуре в воде с температурой 18 – 23 °С.

После 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания усталостная долговечность горячего асфальтобетона типа «Б» снизилась более чем на 50 %; долговечность асфальтобетона с комплексно-модифицированной структурой Elvaloy-AM снизилась на 25 %; комплексно-модифицированного литого асфальтобетона – на 20 %.

В качестве агрессивных химических сред, с целью изучения их влияния на долговечность асфальтобетона, были приняты: вода, 5 %-й раствор соли (NaCl), 2 %-й раствор соляной кислоты (HCl) в соответствии с исследованиями, выполненными под руководством проф. В. А. Золотарева в ХНАДУ. Хлориды, содержащиеся в растворах солей и кислот, способствуют более глубокому прониканию растворов в поры и микротрещины асфальтобетона, значительно ослабляя тем самым прочность коагуляционных контактов. При этом величина насыщения и набухания асфальтобетона раствором соли NaCl в 1,5 раз больше, чем водой. По этой причине усталостная долговечность мелкозернистого асфальтобетона после 15 суток выдерживания в водном растворе NaCl и HCl снижается на 15 – 20 %.

При производстве асфальтобетонных смесей необходимо обеспечить оптимальные температуры производства, т.к. при превышении температуры производства сверх нормативной в асфальтобетонной смеси развиваются процессы технологического старения органического вяжущего, что может негативно отразиться на усталостной долговечности асфальтобетона (рис. 6).

Как следует из данных рис. 6 повышение температуры производства асфальтобетонной смеси приводит к росту предела прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}$ при 20 °С. Это обусловлено тем, что действие высоких температур способствует интенсификации процессов окисления, которые приводят к химическому изменению компонентов битума с образованием новых более высокомолекулярных органических соединений и испарению масел, входящих в состав битумов, что способствует увеличению его вязкости. В то же время, горячие мелкозернистые асфальтобетоны, приготовленные при повышенных температурах (165 °С и выше) характеризуются более низкой усталостной долговечностью. Рост вязкости органического вяжущего, вследствие процессов старения, приводит к увеличению концентрации внутрискелетных пор и пустот

материала, и как следствие, происходит рост числа очагов концентрации критических напряжений при действии динамических нагрузок.

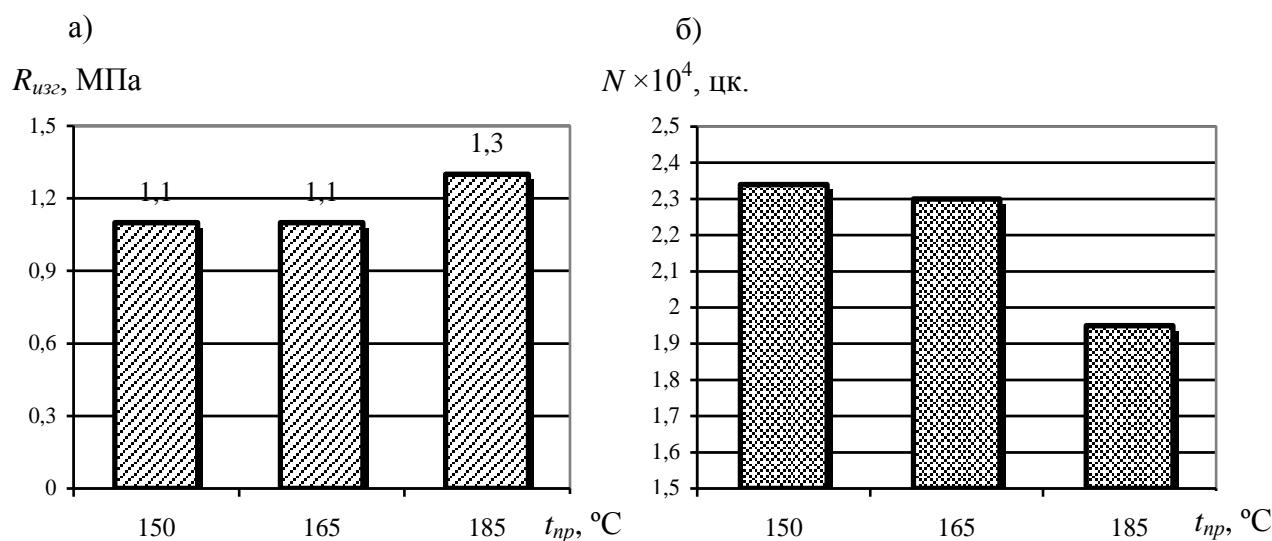


Рис. 6. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$) при 20 °С (а) и количества циклов (N) до усталостного разрушения (б) горячего мелкозернистого асфальтобетона типа «Б» от температуры производства асфальтобетонной смеси (t_{np}).

Таким образом, установлено, что усталостная долговечность асфальтобетона понижается на стадиях транспортирования, укладки и уплотнения смеси.

Шестой раздел посвящен практической реализации исследований. Для ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству и применению модифицированных асфальтобетонов повышенной усталостной долговечности» и определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения асфальтополимербетонов повышенной усталостной долговечности. Результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» в курсах «Строительное материаловедение. Спецкурс» и «Физико-химическая механика строительных материалов».

ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально доказано, что эффективным способом получения дорожных асфальтобетонов характеризующихся повышенной усталостной долговечностью при действии кратковременных циклических и статических нагрузок является комплексная модификация нефтяного дорожного битума этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой и поверхностная активация щебня, искусственного песка и минерального порошка этиленглицидилакрилатом, а также комплексная модификация нефтяного дорожного битума бутадиевметилстирольным каучуком в комбинации с технической серой и поверхностной активацией минерального порошка каучуком.

2. Введение в битумы полимерных добавок и активация поверхности минерального порошка растворами полимеров позволяет повысить деформативность асфальто вяжущего при отрицательных температурах. Установлено, что наибольшее снижение температуры хрупкости (на 4 – 6 °С) наблюдается у асфальто вяжущих с комплексно-модифицированной структурой, представленной системами «битум – МП, активированный раствором СКМС-30», «битум – СКМС-30 – техническая сера – МП, активированный раствором СКМС-30» и «битум – этиленглицидилакрилат марки Elvaloy-AM – МП, активированный этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM». Установлено, что оптимальное количественное соотношение МП/Б находится в пределах от 75 % до 100 – 125 %.

3. Комплексная модификация микроструктуры этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM, бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30, термоэластопластом Kraton D 1101 приводит к повышению предела прочности при сжатии в 1,1 – 1,9 раз. Установлено, что оптимальная концентрация битума в асфальто вяжущих находится в пределах от 13 – 14 % до 15 – 16 % и зависит от вязкости битума или битумополимерного вяжущего, а также от степени структурированности минеральным порошком органического вяжущего.

4. С использованием метода экспериментально-статистического моделирования определена оптимальная концентрация этиленглицидилакрилата марки Elvaloy-AM на поверхности известнякового минерального порошка 0,65 – 0,7 %. Определена оптимальная концентрация этиленглицидилакрилата (0,7 % мас.) на поверхности минеральных материалов (щебня, песка и минерального порошка) при объединении с нефтяным дорожным битумом, который модифицирован этиленглицидилакрилатом (2,0 % мас.) в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105 (0,2 % мас.).

5. Установлено, что в интервале температур от +20 °С до минус 10 °С усталостная долговечность асфальтобетонных с комплексно-модифицированной структурой значительно выше, по сравнению со стандартными асфальтобетонами. Повышение усталостной долговечности в 1,5 – 2 раза наблюдается у асфальтобетона в котором битум модифицирован 2,0 % мас. этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105, а минеральные материалы поверхностно активированы 0,7 % мас. этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM» и в 1,1 – 1,5 раз у комплексно-модифицированного литого асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 + 30 % технической серы, а минеральный порошок поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30».

6. Исследована усталостная долговечность асфальтобетонных при действии различных агрессивных сред (вода, растворы солей и кислот). Наиболее устойчивым к действию агрессивных сред является литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной структурой бутадиенметилстирольным каучуком и технической серой. Установлено, что усталостная долговечность асфальтобетона понижается на стадиях транспортирования смеси, укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси.

7. По результатам исследований для ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству и применению модифицированных асфальтобетонов повышенной усталостной долговечности» и определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения 1 т асфальтополимербетонов повышенной усталостной долговечности, которая составит 691,70 руб. Результаты исследований внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» в дисциплинах «Строительное материаловедение. Спецкурс» и «Физико-химическая механика строительных материалов».

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН Украины:

1. Гончаренко В. В. О критериях оценки усталостной долговечности дорожных асфальтобетонов [Текст] / В. В. Гончаренко, **Е. А. Ромасюк** // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – Макіївка: ДонНАБА, 2012. – Вип. 1 (93). – С. 173–179. *(Проведен анализ научных работ в области усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий, проанализированы зависимости для определения основных критериев усталостной долговечности).*

2. **Ромасюк Е. А.** Оценка влияния активированных минеральных порошков и полимерных модификаторов на температуру хрупкости асфальтовяжущего вещества [Текст] / Е. А. Ромасюк, В. И. Братчун, В. В. Гончаренко, Ахмед Талиб Мутташар Мутташар // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – Макіївка: ДонНАБА, 2013. – Вип. 1 (99). – С. 84–91. *(Получены экспериментальные данные по температуре хрупкости комплексно-модифицированных асфальтовяжущих веществ).*

3. **Ромасюк Е. А.** Физические свойства и деформационно-прочностные характеристики комплексно-модифицированных асфальтовяжущих веществ [Текст] / Е. А. Ромасюк // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – Макіївка: ДонНАБА, 2014. – Вип. 1 (105). – С. 17–23.

4. Технологічні і фізико-механічні властивості асфальтобетонів модифікованих етиленгліцидилакрилатом [Текст] / В. Л. Беспалов, В. І. Братчун, М. К. Пактер, О. А. Стукалов, **Є. О. Ромасюк** // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, Зовнішрекламсервіс, 2014. – Вип. 53. – С. 49–54. *(Изучены физико-механические свойства асфальтовяжущих, комплексно модифицированных этиленглицидилакрилатом).*

5. **Ромасюк Е. А.** Исследование усталостной долговечности асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой [Текст] / Е. А. Ромасюк, В. Л. Беспалов, В. П. Демешкин // Вісник Донбаської національної академії бу-

дівництва і архітектури: зб. наук. праць. – Макіївка: ДонНАБА, 2015. – Вип. 1 (111). – С. 27–34. *(Получены экспериментальные данные по усталостной долговечности модифицированных асфальтобетонов при различных температурах).*

б. Ромасюк Е. А. Усталостная долговечность модифицированных асфальтобетонов при динамическом нагружении [Текст] / Е. А. Ромасюк, В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, А. А. Стукалов. // Современное промышленное и гражданское строительство. – Макеевка, 2015. – Т. 11, № 1. – С. 15–25. *(Изучена усталостная долговечность модифицированных асфальтобетонов при воздействии различных температур и агрессивных сред).*

– **публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Асфальтополимербетонные смеси, модифицированные этиленглициди-лакрилатом [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, А. А. Стукалов, **Е. А. Ромасюк** // Наука и техника в дорожной отрасли: Дорожно-строительные материалы. – М.: Дороги, 2015. – С. 33–36. *(Получены экспериментальные данные по усталостной долговечности модифицированных асфальтобетонов).*

– **публикации в других изданиях:**

1. Модифіковані асфальтобетонні суміші для будівництва довговічних покриттів нежорстких дорожніх одягів [Текст] / В. Л. Беспалов, В. І. Братчун, М. К. Пактер, Ахмед Талиб Мутташар Мутташар, Д. В. Гуляк, **Е. А. Ромасюк**. // Современные проблемы строительства. Ежегодный научно-технический сборник. – Донецк: Промстройинипроект, 2013. – № 16. – С. 103–109. *(Изучены деформационно-прочностные характеристики модифицированных асфальтовяжущих при отрицательных температурах).*

– **публикации по материалам научных конференций:**

1. **Ромасюк Е. А.** Влияние комплексно-модифицированной микроструктуры асфальтовяжущего на его температуру хрупкости [Текст] / Е. А. Ромасюк. // Матеріали Всеукраїнської Інтернет-конференції молодих учених та студентів «Проблеми сучасного будівництва» / ПолНТУ. – Полтава, 2012. – С. 213–217.

2. **Ромасюк Е. А.** Исследование физико-механических и деформационно-прочностных свойств асфальтовяжущих с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / Е. А. Ромасюк. // Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы физико-химического материаловедения» / ДонНАСА. – Макеевка, 2013. – С. 21.

3. **Ромасюк Е. А.** Исследование физических и деформационно-прочностных свойств комплексно-модифицированных асфальтовяжущих веществ [Текст] / Е. А. Ромасюк. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг» / ХНАДУ. – Харків, 2013. – С. 277–281.

4. Структурные превращение в битуме асфальтовяжущем под влиянием терполимерной добавки / М. К. Пактер, В. Л. Беспалов, В. И. Братчун, А. А. Стукалов, **Е. А. Ромасюк** // Материалы международной научно-

практической конференции «Строительство-2013. Строительство. Дороги. Транспорт». – Ростов н/Д: РГСУ, 2013. – С. 207–208.

5. **Ромасюк Е. А.** Исследование усталостной долговечности асфальтобетонов и асфальтополимербетонов различных типов при воздействии кратковременных циклических нагрузок [Текст] / Е. А. Ромасюк. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Покращення конструктивних, технологічних і експлуатаційних показників автомобільних доріг і штучних споруд на них в дослідженнях студентів і молодих науковців» / ХНАДУ. – Харків, 2014. – С. 279 – 283.

6. **Ромасюк Е. А.** Повышение усталостной долговечности асфальтобетонов путем комплексной модификации их структуры [Текст] / Е. А. Ромасюк. // Материалы международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли» / АДИ ГВУЗ «ДонНТУ». – Горловка, 2015. – С. 138–142.

АННОТАЦИЯ

Ромасюк Евгений Александрович. Дорожные асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной усталостной долговечности. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Макеевка, 2015 г.

Диссертация посвящена разработке составов асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой, обладающих повышенной усталостной долговечностью по сравнению со стандартными горячими асфальтобетонами.

Теоретические и экспериментальные исследования процессов и явлений, определяющих механизм усталостного разрушения, позволили установить, что рост усталостных трещин при действии переменного нагружения происходит главным образом по пленочному органическому вяжущему и границе раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал». Следовательно, для повышения деформационно-прочностных свойств асфальтобетона в условиях действия динамических нагрузок, влаги, агрессивных сред необходимо модифицировать органическое вяжущее в направлении повышения термостабильности, расширения интервала пластичности, увеличения адгезионно-когезионных свойств, эластичности, а также использовать асфальтобетоны с рациональным гранулометрическим составом, имеющим наиболее плотную структуру.

Разработаны составы модифицированных асфальтобетонов, обладающих повышенной усталостной долговечностью. Повышение усталостной долговечности в 1,5 – 2 раза по сравнению с традиционным горячим асфальтобетоном наблюдается у асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105, а минеральные материалы поверхностно активированы 0,7 % мас. Elvaloy-AM» и в 1,1 – 1,5 раз у комплексно-модифицированного литого асфальтобетона, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. бутадиеметилстирольным каучуком СКМС-30 + 30 % технической серы, а минеральный порошок поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30».

Исследование долговечности асфальтобетонов при воздействии различных агрессивных сред (вода, растворы солей и кислот) показало, что наиболее устойчивым к воздействию агрессивных сред является литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной структурой бутадиенметилстирольным каучуком и технической серой. Установлено, что усталостная долговечность асфальтобетона понижается в результате термоокислительного старения на стадиях транспортирования, укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси.

Для ПАО «Облдорремстрой» разработаны «Рекомендации по производству и применению модифицированных асфальтобетонов повышенной усталостной долговечности» и определена предполагаемая экономическая эффективность от внедрения 1 т асфальтополимербетонов повышенной усталостной долговечности, которая составит 691,70 руб.

Ключевые слова: нефтяной дорожный битум, асфальтобетонные смеси и асфальтобетон с комплексно-модифицированной структурой, полимерный модификатор, усталостная долговечность, способы повышения усталостной долговечности.

SUMMARY

Romasyuk Evgeny. Road asphalt polymer concrete with complex modified structure of increased fatigue life. – On the manuscript.

Dissertation for a degree of candidate of Technical Sciences on the specialty 05.23.05 – building materials and products. – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, 2015.

Dissertation is devoted to the development of asphalt compositions with complex-modified structure, with increased fatigue life to compare from traditional hot asphalt.

Theoretical and experimental studies of processes and phenomena that determine the mechanism of fatigue failure, revealed that the growth of fatigue cracks when exposed to variable loading occurs mainly at the interface «organic bitumen a mineral filler». Therefore, to increase the deformation strength properties of asphalt concrete under the action of a loads, moisture, corrosive environments need to improve the quality of organic binders (to increase thermal stability, expand the range of plasticity to increase adhesion-cohesive properties, elasticity), and use asphalt concretes with rational size distribution having the densest structure.

The compositions of asphalt, with the complex structure of the modified polymer additives Elvaloy-AM and butadiene methyl rubber have a more than 2-fold greater fatigue life under dynamic and static loads.

Research asphalt durability when exposed to a variety of aggressive media (aqueous medium, solutions of salts and acids) showed that the most resistant to the corrosive media is cast asphalt with complex modified structure butadiene methyl rubber and technical sulfur. It is found that the fatigue life is reduced by stages asphaltic mixture transport, stacking and compacting the mixture.

Keywords: oil road bitumen, asphalt concrete mixtures and asphalt concrete with complex modified structure, polymer modifier, fatigue life, ways to increase fatigue life.

АНОТАЦІЯ

Ромасюк Євген Олександрович. Дорожні асфальтополімербетони з комплексно-модифікованою структурою підвищеної утомленісної довговічності. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та виробн. – ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Макіївка, 2015.

Дисертація присвячена розробці складів асфальтобетонів з комплексно-модифікованою структурою, що відрізняються підвищеною утомленісною довговічністю у порівнянні з традиційними гарячими асфальтобетонами.

Розроблено склади модифікованих асфальтобетонів, що володіють підвищеною утомленісною довговічністю. Підвищення утомленісної довговічності в 1,5 – 2 рази у порівнянні із стандартним гарячим асфальтобетоном спостерігається в асфальтобетоні, в якому бітум модифікований 2,0 % мас. етіленгліциділакрилатом марки Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105, а мінеральні матеріали поверхнево активовані 0,7 % мас. Elvaloy-AM» і у 1,1 – 1,5 разів у комплексно-модифікованого литого асфальтобетону, в якому бітум модифікований 2,0 % мас. бутадієнметілстирольним каучуком СКМС-30 + 30 % технічної сірки, а мінеральний порошок поверхнево активований 0,5 % мас. СКМС-30 ».

Дослідження довговічності асфальтобетонів при впливі різних агресивних середовищ (вода, розчини солей і кислот) показало, що найбільш стійким до впливу агресивних середовищ є литий асфальтобетон з комплексно-модифікованою структурою бутадієнметілстирольним каучуком і технічної сіркою. Встановлено, що утомленісна довговічність асфальтобетону знижується на стадіях транспортування, укладання і ущільнення суміші.

Для ПАТ «Облдоррембуд» розроблені «Рекомендації з виробництва і застосування модифікованих асфальтобетонів підвищеної утомленісної довговічності» і визначена передбачувана економічна ефективність від впровадження 1 т асфальтополімербетонів підвищеної утомленісної довговічності, яка складе 691,70 руб.

Ключові слова: нафтовий дорожній бітум, асфальтобетонні суміші та асфальтобетон з комплексно-модифікованою структурою, полімерний модифікатор, утомленісна довговічність, способи підвищення утомленісної довговічності.