

Ефремов Сергей Всеволодович

УДК 625.852

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ
ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД**

Специальность 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Автореферат
диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Золотарёв Виктор Александрович,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, заведующий кафедрой технологии дорожно-строительных материалов.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Братчун Валерий Иванович,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, заведующий кафедрой технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог;

кандидат технических наук, доцент
Титарь Вячеслав Семёнович,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, доцент кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

Защита состоится «18» марта 2010 г. в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного учёного совета **Д64.820.02** в Украинской государственной академии железнодорожного транспорта (61050, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Украинской государственной академии железнодорожного транспорта (61050, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7).

Автореферат разослан «05» февраля 2010 г.

Учёный секретарь
специализированного учёного совета
к.т.н., доцент

Г. Л. Ватуля

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные условия работы асфальтобетонных покрытий отличаются высокими нагрузками на ось, большой интенсивностью движения и возрастающим действием водных сред различной агрессивности. В нормативных документах многих стран реакция асфальтобетона на эти действия оценивается коэффициентом краткосрочной и/или длительной водостойчивости. При безусловной полезности этого коэффициента он даёт ограниченную информацию в отношении прогнозирования долговечности асфальтобетона и асфальтобетонного покрытия: не учитываются особенности водных сред, обусловленные факторами окружающей среды и ухода за покрытиями, и особенности одновременного действия рабочих нагрузок и сред.

Назначаемые на основе стандартной оценки составы асфальтобетонов во многих случаях не обеспечивают устойчивость покрытий против шелушения, выкрашивания и выбоинообразования. Определение коэффициента длительной водостойчивости, существенно более объективного, чем коэффициент краткосрочной водостойчивости, требует длительного времени, что может привести к выпуску больших объёмов некачественных асфальтобетонных смесей. В связи с этим, актуальной задачей является изучение долговечности асфальтобетонов в условиях одновременного действия нагрузок и жидких агрессивных сред и разработка альтернативных критериев оценки их устойчивости при таких действиях.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Материалы диссертационной работы являются составной частью научно-исследовательских работ по договорам № 47-18-02 «Разработать экспресс-методы оценки качества битума и асфальтобетона» (номер государственной регистрации 0102U004116) и № 126/38-44-08 «Розробити методику та програмне забезпечення для визначення показника зчеплення органічних в'язучих з використанням ЕОМ» (номер государственной регистрации 0108U002977), выполнявшимся по заказу Государственной службы автомобильных дорог Украины «Укравтодор» (соискатель выполнил экспериментальные исследования).

Целью работы является исследование влияния агрессивных сред на долговечность асфальтобетона и установление закономерностей разрушения асфальтобетонов в условиях совместного действия жидких агрессивных сред и механических нагрузок и разработка на этой основе критериев оценки и путей повышения их коррозионной устойчивости.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ действующих на асфальтобетоны жидких сред, выбрать наиболее распространённые и наиболее агрессивные среды для экспериментальных исследований.

2. Разработать теоретические предпосылки совместного действия сред и механических нагрузок на разрушение асфальтобетона.

3. Выявить закономерности поверхностных свойств на границе раздела фаз (среда – битум – минеральный материал), показать их влияние на долговечность асфальтобетонов с учётом температурного фактора.

4. Показать влияние вязкости битумов на интенсивность разрушающего действия агрессивных сред.

5. Установить закономерности долговременной прочности асфальтобетонов, работающих в агрессивных средах.

6. Раскрыть особенности поведения в агрессивных средах асфальтобетонов различной плотности и гранулометрических типов.

7. Изучить влияние содержания вяжущего в асфальтобетоне на его устойчивость против действия жидких сред.

8. Разработать предложения по регулированию состава и качества компонентов асфальтобетона с целью повышения его коррозионной стойкости, а также методы и критерии оценки коррозионной устойчивости асфальтобетонов.

Объект исследования. Долговечность и коррозионная устойчивость асфальтобетонов в условиях совместного действия на него механических нагрузок и жидких агрессивных сред.

Предмет исследования. Закономерности разрушения асфальтобетонов различных составов в агрессивных средах под действием постоянных нагрузок.

Методы исследования. Для установления особенностей работы битума и асфальтобетона в условиях действия агрессивных сред использованы специальные методы определения: долговечности (время до разрушения под нагрузкой при чистом изгибе) асфальтобетона; краевых углов смачивания жидкими средами и битумом различных подложек на границе раздела фаз «жидкость–воздух–твёрдая подложка»; поверхностного натяжения; сцепления битумов с минеральными материалами различной природы; диффузии сред в битум; длительной водоустойчивости асфальтобетона по стандартной и ускоренной методикам испытаний. Стандартные свойства асфальтобетонов изучались в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-89-99 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний» и ДСТУ Б В.2.7-119-2003 «Строительные материалы. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный. Технические условия».

Научная новизна полученных результатов. Теоретически рассмотрен и экспериментально изучен механизм разрушения асфальтобетонов, отличающихся гранулометрическим составом с изменяющимся содержанием битумов разных марок при различных уплотняющих давлениях в условиях совместного действия механических нагрузок и агрессивных сред в широком температурном диапазоне:

- установлена взаимосвязь между краевыми углами смачивания поверхности минеральных материалов различного происхождения жидкими средами и отслаивающей способностью сред битумных плёнок от этих подложек: она тем больше, чем лучше смачивающая способность сред;

- определена степень диффузии различных сред в битум;

- с использованием показателей сцепления битума с поверхностью минеральных материалов в воде и в агрессивных средах показано влияние минерального состава на способность битума сопротивляться отслаивающему действию сред;

- установлено снижение долговечности асфальтобетона (времени его

сопротивления разрушению) при совместном действии нагрузки и жидких сред по сравнению с разрушением его в воздушной среде;

- показано, что с увеличением сцепления битума с минеральными материалами время до разрушения асфальтобетона в жидких средах закономерно увеличивается;

- предложен критерий оценки устойчивости асфальтобетонов против совместного действия агрессивных сред и механических нагрузок, заключающийся в определении соотношения времени до разрушения при испытаниях в жидких средах и на воздухе;

- разработан метод ускоренной оценки коэффициента устойчивости асфальтобетона в агрессивных средах, основанный на ускорении отслаивающего действия жидких агрессивных сред за счёт повышения его температуры.

Практическое значение полученных результатов заключается в установлении факторов, способствующих повышению устойчивости асфальтобетона к действию агрессивных сред и механических нагрузок при разных температурах; в установлении влияния природы минеральных материалов на сцепление с битумом в агрессивных средах; в определении взаимосвязи показателей сцепления битума с минеральными материалами в агрессивных средах с временем до разрушения асфальтобетонов; установление агрессивной активности различных сред; в разработке метода ускоренной оценки коэффициента водоустойчивости асфальтобетонов и коэффициента их устойчивости под действием агрессивных сред. Полученные результаты позволяют осуществить объективный выбор составляющих и их количественное соотношение в составе асфальтобетонов, работающих в конкретных эксплуатационных условиях и оперативно предупредить выпуск в производственных условиях некачественных асфальтобетонных смесей.

Личный вклад соискателя. Автору принадлежат результаты экспериментальных исследований, разработка и производственная проверка метода ускоренной оценки водоустойчивости и устойчивости асфальтобетонов в агрессивных средах.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы доложены на: научной конференции стран СНГ «Коллоидная химия и физико-химическая механика природных дисперсных систем» (г. Одесса, 1993 г.); II международной конференции по технической химии „Розвиток технічної хімії в Україні” (г. Харьков, ХарГАЗТ, 1997 г.); IV Международной конференции «Durable and Safe Road Pavement» (Польша, г. Кельцэ, 1998 г.); IX Международной конференции «Durable and Safe Road Pavement» (Польша, г. Кельцэ, 2003 г.); Международной научно-технической конференции «Сучасні проблеми та перспективи розвитку дорожньо-будівельного комплексу України» (г. Киев, 2004 г.); Международной научно-технической конференции «Структурутворення, технологія, властивості і довговічність органічних в'язучих і бетонів на їх основі» (г. Харьков, ХНАДУ, 2007 г.); 71^{вої} научно-технической и научно-методической сессии ХНАДУ (г. Харьков, ХНАДУ, 2007 г.); Международной научно-практической интернет-конференции «Современные методы строительства дорог и обеспечение безопасности движения» (г. Белгород,

БГТУ им. В. Г. Шухова, 2007 г.); 72^{рої} научно-технической и научно-методической сессии ХНАДУ (г. Харьков, ХНАДУ, 2008 г.).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 18 статей, из них 14 в изданиях, рекомендованных ВАК Украины.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка литературы из 187 наименований на 20 страницах и трёх приложений на 30 страницах, содержит 167 страниц основного текста, среди них 65 рисунков (27 страниц), двадцать четыре таблицы (16 страниц).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, приведены научная новизна и практическое значение.

В первом разделе рассматривается состояние научной проблемы и излагается анализ литературных источников по ней. Главными объектами такого анализа послужили работы, в которых долговечность твёрдых тел рассматривается как время их жизни под нагрузкой до потери сплошности (разрушения). В этом отношении наиболее информативными и фундаментальными являются работы акад. С. Н. Журкова и его школы (В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский), в которых теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что разрушение твёрдых тел от металлов до полимеров носит кинетический характер, выражающийся в накоплении дефектов под действием нагрузок во времени. При этом разрушение имеет термофлуктуационную природу, заключающуюся в том, что разрушение обусловлено тепловыми колебаниями атомов, а механическая нагрузка обеспечивает направленность разрушения и снижает энергию активации этого процесса. Обобщённый закон, учитывающий влияние двух факторов разрушения описывается уравнением (1):

$$t = t_0 \exp[(U_0 - \gamma\sigma)/KT], \quad (1)$$

где t_0 – период колебаний атомов относительно положения равновесия; U_0 – энергия активации элементарного акта процесса разрушения в отсутствие напряжения; γ – коэффициент, зависящий от природы и структуры материала; K – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура. Близкими по физической сущности к этой теории являются экспериментальные исследования и теоретические выводы Г. М. Бартенева, развитые для полимеров и органических стёкол.

В отношении асфальтобетона первым принципиальным аргументом в пользу кинетической теории прочности послужили степенные зависимости его прочности от скорости нагружения, установленные Н. Н. Ивановым и М. Я. Телегиным. В конце 60-тых годов XX века возможность такого подхода при положительных температурах показана в работах В. А. Золотарёва, затем Г. Н. Кирюхина, при низких температурах в работах В. С. Титаря. По отношению к дёгтебетонам такие исследования выполнены В. И. Братчуном с сотрудниками. Близкими к этой проблеме являются работы А. В. Руденского. В последнее время преимущества и недостатки термофлуктуационной теории прочности применительно к цементному камню рассмотрены А. Н. Плугиным с сотрудниками.

Кинетический подход к природе разрушения асфальтобетона путём образования и накопления трещин позволяет качественно иначе, чем при традиционном (прочностном), учесть влияние рабочих сред на его долговечность. В случае традиционного подхода влияние сред оценивается последовательным воздействием среды, а затем нагрузки. Таково стандартное испытание по определению коэффициента водоустойчивости, когда материал предварительно выдерживается в воде, а затем определяется потеря его прочности. Этот принцип влияния агрессивных сред на процесс разрушения использован в работах Ф. Ф. Цитшера, Б. С. Куринова, А. Д. Гавриленко, Ю. П. Ткачука, Э. В. Котлярского, А. В. Седова, О. А. Швагиревой. В 70-тых годах впервые выполнена работа (В. А. Золотарёв с соавторами), в которой изучалось совместное влияние нагрузок и сред на время жизни асфальтона под нагрузкой. При малых нагрузках это время оказалось существенно зависящим от вида среды (воздух, вода, керосин). Результаты этой работы, несмотря на её ограниченность по условиям испытания, количеству и качеству изучаемых объектов, видам сред позволили сделать главный вывод, свидетельствующий об эффективности такого подхода. На основании анализа литературных источников по теме сформулированы задачи исследования.

Во втором разделе изложены гипотетические представления о долговечности асфальтобетона в условиях воздействия агрессивных сред. Они основываются на учёте поверхностных явлений, сопровождающих процесс разрушения асфальтобетона. Главным условием разрушения асфальтобетона в агрессивных средах является соотношение скорости трещинообразования и скорости распространения в нём среды. Скорость трещинообразования (разрушения) зависит от величины действующей нагрузки и взаимосвязана со временем, необходимым для потери телом сплошности. Скорость распространения жидкой среды определяется её смачивающей способностью по отношению к подложке и может характеризоваться краевым углом смачивания θ на границе раздела фаз «подложка – среда – воздух» согласно уравнению Юнга:

$$\cos \theta = (\sigma_{пв} - \sigma_{сп}) / \sigma_{св}, \quad (2)$$

где $\sigma_{пв}$, $\sigma_{сп}$ и $\sigma_{св}$ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз: подложка для жидкой среды – воздух; среда – подложка; среда – воздух.

Смачивание является кинетическим процессом, протекающим во времени. В соответствии с этим смачивающая способность среды тем больше, чем меньше $\sigma_{св}$, чем больше $\sigma_{пв}$, чем меньше $\sigma_{сп}$. Поскольку агрессивными средами в процессе работы асфальтобетона в покрытии являются водные растворы различных веществ, а подложкой поверхность минеральных материалов и битума, то скорость процессов смачивания может колебаться в широких пределах.

Наиболее простой жидкой средой является вода. Как полярная жидкость, она характеризуется большим по сравнению с органическими жидкостями поверхностным натяжением. В соответствии с механизмом избирательного смачивания, описанным П. А. Ребиндером, она очень хорошо смачивает минеральные материалы с высоким межмолекулярным взаимодействием, содержащие твёрдые минералы (кварц), хуже материалы, состоящие из мягких минералов (кальцит). Её агрессивное действие выражается в вытеснении плёнки

битума с поверхности каменного материала. Агрессивность воды и водных растворов различных химических веществ зависит от их влияния на $\sigma_{сп}$ и $\sigma_{св}$.

При разрушении асфальтобетона под действием нагрузок трещины могут развиваться по когезионному (рис. 1а), адгезионному (рис. 1б) или смешанному механизмам (рис. 1в). Поскольку водные растворы полярны, они плохо смачивают неполярную поверхность битума и в минимальной степени могут влиять на развитие в асфальтобетоне трещин по вяжущему.

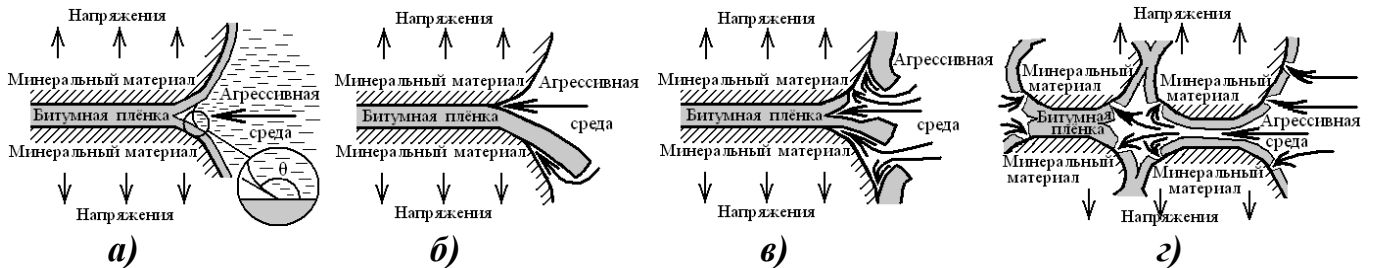


Рис. 1. Возможные схемы развития трещин в асфальтобетоне на границе раздела фаз «среда – битум – минеральный материал» при малых растягивающих напряжениях: а) продольный разрыв плёнки битума по когезионным связям; б) отслоение битумной плёнки от поверхности минеральных материалов по адгезионным связям; в) комбинированный механизм двух видов разрушения; з) коррозионный разрыв битумной плёнки с оголением минеральной поверхности.

Активное влияние среды на этот процесс связано с необходимостью контакта среды с минеральной поверхностью, то есть наличием нарушений сплошности битумной плёнки. Такие нарушения формируются на стадии перемешивания (согласно Л. Б. Гезенцеву даже при качественном перемешивании до 25 % поверхности остаётся непокрытой битумом), под действием нагрузок (в процессе разрушения) и за счёт проникающего действия среды (рис. 1з).

Второй фактор влияния жидкой среды на процесс разрушения состоит в том, что при попадании в устья трещин она снижает поверхностное натяжение $\sigma_{сп}$ в соответствии с эффектом П. А. Ребиндера, понижая прочность подложки. Кроме того, среда, заполняющая трещины, в случае её хорошей смачивающей способности по отношению к поверхности трещины, создаёт, согласно Б. Д. Дерягину, расклинивающий эффект, что препятствует залечиванию трещин при малых скоростях разрушения.

Степень влияния того или другого фактора агрессивности среды на долговечность асфальтобетона определяется: адгезией битума к минеральной подложке, пористостью асфальтобетона, толщиной битумной плёнки, её консистенцией, уровнем напряжённого состояния (чем больше напряжение, тем больше дефектов, но тем меньше время разрушающего действия среды), коррозионной активностью среды. Многие из этих факторов могут приводить к снижению энергии активации процесса разрушения и сокращать время жизни асфальтобетона под нагрузкой. В связи с этим целесообразно использовать для оценки разрушающего действия коэффициент устойчивости ($K_{a.c.}$) в среде в виде соотношения времени до разрушения асфальтобетона при совместном действии среды и нагрузки (t_c) к времени до разрушения на воздухе (t_a).

Учитывая, что интенсивность действия среды связана со схемой напряжённого состояния асфальтобетона, для определения предлагаемого коэффициента наиболее целесообразно испытание при растяжении. Принимая во внимание условия работы асфальтобетонного покрытия и практическую сложность обеспечения такой схемы напряжённого состояния, в экспериментальных исследованиях использована схема чистого изгиба.

В третьем разделе рассмотрены методы и материалы, используемые в исследованиях.

Кроме стандартных методов испытаний органических вяжущих и бетонов на их основе были использованы специальные, разработанные в ХАДИ, методы и оригинальные приборы по определению: времени до разрушения асфальтобетона при чистом изгибе (t); краевого угла смачивания (θ); сцепления (C_u) вяжущего с минеральной поверхностью; проникания сред в битум; воспроизведён и использован метод и прибор П. А. Ребиндера по определению поверхностного натяжения жидких сред. Одновременное влияние нагрузок и жидких сред на время до разрушения асфальтобетона при чистом изгибе осуществлялось, нагружением образцов-балочек сразу после погружения их в среду.

На основе анализа литературных источников в качестве жидких сред приняты: дистиллированная вода; 5 % водный раствор NaCl; 2 % водные растворы соляной (HCl) и серной (H₂SO₄) кислот; 0,05 % водный раствор неионогенного поверхностно-активного вещества ОП-10. Для исследования поверхностных свойств сред и сцепления битума с минеральными материалами использованы: мрамор, известняк, гранодиорит, гранит, кварц. В качестве вяжущих приняты битумы марок: БНД 40/60; БНД 60/90; БНД 130/200 и БНД 200/300, полученные путём компаундирования битума марки БНД 40/60 и гудрона Лисичанского НПЗ. Для обеспечения стабильности состава асфальтобетона использован дроблённый и рассеянный по фракциям (10÷15 мм; 5÷10 мм; 2,5÷5 мм; 1,25÷2,5 мм; 0,63÷1,25 мм; 0,315÷0,63 мм; 0,14÷0,315 мм; 0,071÷0,14 мм) гранит и известняковый минеральный порошок.

В четвёртом разделе приведены результаты исследований: поверхностных свойств жидких агрессивных сред; их диффузии в битум; сцепления битума с минеральными материалами различной природы в агрессивных средах; долговечности асфальтобетонов разных гранулометрических типов, на основе различных марок и содержания битумов, уплотненных под давлением 10 МПа, 30 МПа и 40 МПа и испытанных при различных температурах.

Результаты исследований поверхностных свойств агрессивных жидких сред (табл. 1) свидетельствуют о закономерности, в соответствии с которой понижение поверхностного натяжения агрессивных жидких сред, как правило, сопровождается уменьшением их краевых углов смачивания θ со всеми исследуемыми поверхностями. При этом решающим фактором снижения θ является минеральный состав подложек. Так, при переходе от мрамора к кварцу θ уменьшается на 48 °.

В тесной взаимосвязи с краевым углом смачивания минеральных подложек средой находится их сцепление с битумом в среде: чем ниже θ , тем меньше сцепление (табл. 2). При этом для всех подложек подтверждается ранее установленная А. И. Лысихиной закономерность, состоящая в том, что с

понижением марочной вязкости битумов одной природы и технологии получения, сцепление падает. Степень снижения сцепления с кварцевым стеклом при переходе от битума БНД 40/60 к БНД 130/200 находится в пределах 18÷29 %. В отношении средоустойчивости плёнок битума на разных подложках подтверждаются известные факты (А. И. Лысихина, А. С. Колбановская, И. М. Руденская), касающиеся устойчивости битумной плёнки в водной среде: она больше в случае основных горных пород и меньше для кислых. Наиболее активной средой по сравнению с водой являются растворы ПАВ. Для пары «битум БНД 130/200 – 0,05 % раствор ПАВ» сцепление снижается на 22÷27 %, а для растворов соли и кислот это снижение находится в пределах 3÷9 %.

Таблица 1

Поверхностные свойства агрессивных сред

| Поверхность | Краевой угол смачивания (θ) в град. различных поверхностей различными средами | | | | |
|--|--|--------------------|-------------------|--|------------------------|
| | Дист. вода | 5 % водн. р-р NaCl | 2 % водн. р-р HCl | 2 % водн. р-р H ₂ SO ₄ | 0,05 % водн. р-р ОП-10 |
| Битум БНД40/60 | 88,8 | 80,9 | 61,6 | 57,7 | 34,4 |
| Мрамор (белый) | 64,6 | 63,1 | - | - | 33,8 |
| Известняк | 64,5 | 62,5 | - | - | 32,5 |
| Гранодиорит (чёрн.) | 37,8 | 33,9 | - | - | 19,9 |
| Гранит (серый) | 30,9 | 29,9 | 26,4 | 23,0 | 21,2 |
| Кварц | 16,2 | 14,0 | 12,1 | 10,1 | 9,3 |
| Слюда | 16,5 | 12,2 | 15,4 | 14,6 | 7,2 |
| Кварцевое стекло | 8,4 | 8,6 | 6,5 | 6,7 | 4,9 |
| Поверхностное натяжение (σ), мДж/м ² | 72,59 | 72,90 | 70,01 | 69,00 | 28,17 |
| Водородный показатель (рН) | 7,09 | 6,06 | 0,56 | 0,35 | 6,45 |

Такой характер влияния сред на сцепление битумов с подложкой в значительной степени определяет закономерности изменения времени до разрушения асфальтобетонов при совместном действии нагрузок и сред. Типичная для данного исследования зависимость долговечности от величины напряжения представлена на рис. 2.

Когда средой является вода, её разрушающее влияние обусловлено высокой смачивающей способностью отрицательно заряженной поверхности и возникновением расклинивающего эффекта за счёт перекрытия двойного электрического слоя. Такой же, но усиленный диффузией ионов соли в дефекты структуры асфальтобетона, механизм может иметь место и в случае растворов соли в воде. В случае водных растворов кислот приоритетным может быть фильтрация их сквозь плёнку битума с последующим взаимодействием с минеральной поверхностью и вытеснением с неё плёнок битума. Механизм действия растворов ПАВ может включать гидрофилизацию поверхности битума, избирательное смачивание поверхности минеральных материалов и гетерогенный (по А. Н. Плугину) механизм адсорбции.

Представленные на рис. 2 зависимости могут быть описаны степенным уравнением Г. М. Бартенева $t_d = B\sigma^{-b} \exp \frac{U}{KT}$, предложенным для полимеров, работающих при температурах существенно выше температуры их стеклования. Это уравнение не противоречит физической сущности термофлуктуационной теории прочности в отношении асфальтобетонов. Соотношение показателей долговечности испытаний (при напряжении 0,50 МПа) в воздухе и растворе ПАВ достигает 4,5 (табл. 3). При больших напряжениях (2,51 МПа) это соотношение снижается до 2,18. Существенная зависимость долговечности от напряжения при испытаниях в средах подтверждает целесообразность использования коэффициента устойчивости асфальтобетона в жидких средах ($K_{a.c.}$). Сравнение значений этих коэффициентов, полученных при испытаниях в разных средах (табл. 4), показывает, что их распределение по степени разрушающего воздействия на асфальтобетоны разных гранулометрических типов полностью соответствует их распределению по значениям сцепления битумной плёнки с минеральными подложками (табл. 2). Коэффициент $K_{a.c.}$ является обобщающей характеристикой влияния среды на снижение долговечности асфальтобетона. В то же время механизм этого влияния зависит от вида среды и характера её взаимодействия с подложкой.

Таблица 2

Сцепление битумов с различными минеральными поверхностями в агрессивных средах

| Поверхность | Сцепление ($C_{ц}$) с минеральной поверхностью, % | | | | | | |
|----------------------|---|--------------------|-------------------|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | Дис. вода | 5 % водн. р-р NaCl | 2 % водн. р-р HCl | 2 % водн. р-р H ₂ SO ₄ | 0,002 % водн. р-р ОП-10 | 0,005 % водн. р-р ОП-10 | 0,05 % водн. р-р ОП-10 |
| БНД 40/60 | | | | | | | |
| Мрамор (белый) | 100 | 100/0 | - | - | 98/2 | 97/3 | 91/9 |
| Известняк | 100 | 100/0 | - | - | 100/0 | 98/2 | 94/6 |
| Гранодиорит (чёрный) | 78 | 80/-2 | - | - | 68/10 | 68/10 | 64/14 |
| Гранит (серый) | 69 | 67/2 | 63/6 | 61/8 | 57/12 | 55/14 | 52/16 |
| Кварцевое стекло | 47 | 46/1 | 44/3 | 45/2 | 40/7 | 39/8 | 36/11 |
| БНД 60/90 | | | | | | | |
| Мрамор (белый) | 96 | 98/-2 | - | - | 85/11 | 84/12 | 80/16 |
| Известняк | 100 | 100/0 | - | - | 90/10 | 88/12 | 83/17 |
| Гранодиорит (чёрный) | 73 | 73/0 | - | - | 60/13 | 58/15 | 52/21 |
| Гранит (серый) | 62 | 61/1 | 60/2 | 58/2 | 52/10 | 50/12 | 45/17 |
| Кварцевое стекло | 39 | 37/2 | 34/5 | 32/7 | 29/10 | 27/12 | 22/17 |
| БНД 130/200 | | | | | | | |
| Мрамор (белый) | 92 | 90/2 | - | - | 72/20 | 69/23 | 65/27 |
| Известняк | 95 | 96/-1 | - | - | 81/14 | 78/17 | 69/26 |
| Гранодиорит (чёрный) | 67 | 65/2 | - | - | 50/17 | 46/21 | 40/27 |
| Гранит (серый) | 55 | 52/3 | 48/7 | 46/9 | 37/18 | 32/23 | 26/29 |
| Кварцевое стекло | 29 | 26/3 | 24/5 | 23/6 | 19/10 | 14/15 | 7/22 |

Примечание: в знаменателе разница между сцеплением в воде и среде.

Коэффициенты устойчивости в агрессивной среде связаны также с краевым углом смачивания средой минеральной подложки (рис. 3). Такой характер влияния агрессивных сред указывает на его непосредственную связь с поверхностными свойствами и явлениями на границе раздела фаз: «минеральная подложка – битум – агрессивная среда» и свидетельствует о справедливости сделанных теоретических предположений.

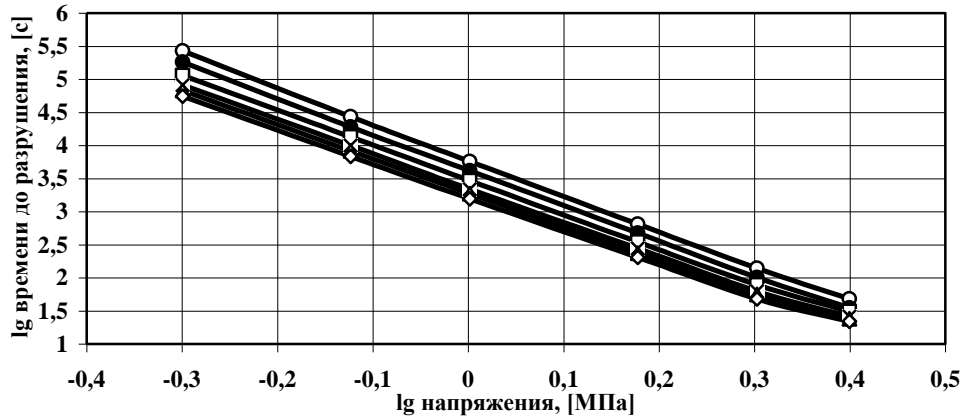


Рис. 2. Зависимость времени до разрушения асфальтобетона типа «Б» с 4,0 % битума БНД 40/60 от напряжения, при температуре 21 °С в средах: ○ – воздух; ● – дистиллированная вода; □ – 5 % водный раствор NaCl; × – 2 % водный раствор HCl; △ – 2 % водный раствор H₂SO₄; ◇ – 0,05 % водный раствор ПАВ ОП-10.

Таблица 3

Долговечность асфальтобетона типа «Б» с разным содержанием битума БНД 40/60 в агрессивных средах при температуре испытаний 21 °С

| Содержание вяжущего, % | Водонасыщение, % | Время до разрушения (с), $K_{a.c.}$ при напряжениях (МПа) в различных агрессивных средах | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------|--|----------------------|------|---------------------|---------------------|------|---------------------|---------------------|------|---------------------|---------------------|------|--|---------------------|------|------------------------|---------------------|------|
| | | Воздух | | | Дис. вода | | | 5 % водн. р-р NaCl | | | 2 % водн. р-р HCl | | | 2 % водн. р-р H ₂ SO ₄ | | | 0,05 % водн. р-р ОП-10 | | |
| | | 0,50 | 1,00 | 2,51 | 0,50 | 1,00 | 2,51 | 0,50 | 1,00 | 2,51 | 0,50 | 1,00 | 2,51 | 0,50 | 1,00 | 2,51 | 0,50 | 1,00 | 2,51 |
| 4,0 | 6,7 | 2,7·10 ⁵ | 5,8·10 ³ | 48 | 1,8·10 ⁵ | 4,1·10 ³ | 35 | 1,1·10 ⁵ | 2,9·10 ³ | 31 | 0,8·10 ⁵ | 2,2·10 ³ | 26 | 0,7·10 ⁵ | 1,9·10 ³ | 24 | 0,6·10 ⁵ | 1,6·10 ³ | 22 |
| | | $K_{a.c.}$ | | | 0,67 | 0,71 | 0,73 | 0,41 | 0,50 | 0,65 | 0,30 | 0,38 | 0,54 | 0,26 | 0,33 | 0,50 | 0,22 | 0,28 | 0,46 |
| 4,5 | 5,1 | 4,0·10 ⁵ | 8,0·10 ³ | 58 | 2,8·10 ⁵ | 6,1·10 ³ | 46 | 2,2·10 ⁵ | 5,3·10 ³ | 45 | 1,9·10 ⁵ | 4,7·10 ³ | 43 | 1,8·10 ⁵ | 4,2·10 ³ | 41 | 1,6·10 ⁵ | 3,8·10 ³ | 39 |
| | | $K_{a.c.}$ | | | 0,70 | 0,76 | 0,79 | 0,55 | 0,66 | 0,78 | 0,48 | 0,59 | 0,74 | 0,45 | 0,52 | 0,71 | 0,40 | 0,48 | 0,67 |
| 5,0 | 2,9 | 4,6·10 ⁵ | 10,0·10 ³ | 72 | 3,4·10 ⁵ | 8,0·10 ³ | 61 | 3,0·10 ⁵ | 7,0·10 ³ | 60 | 2,7·10 ⁵ | 6,4·10 ³ | 58 | 2,2·10 ⁵ | 5,4·10 ³ | 57 | 2,0·10 ⁵ | 5,0·10 ³ | 56 |
| | | $K_{a.c.}$ | | | 0,74 | 0,80 | 0,85 | 0,65 | 0,70 | 0,83 | 0,59 | 0,64 | 0,81 | 0,48 | 0,54 | 0,79 | 0,43 | 0,50 | 0,78 |

Таблица 4

Влияние агрессивных сред на долговечность асфальтобетонов при напряжении 1 МПа

| Тип асфальтобетона | Водонасыщенность, % | Марка битума | Долговечность (с) и $K_{a.c.}$ в различных агрессивных средах | | | | | |
|--------------------|---------------------|--------------|---|------------|--------------------|-------------------|--|------------------------|
| | | | Воздух | Дист. вода | 5 % водн. р-р NaCl | 2 % водн. р-р HCl | 2 % водн. р-р H ₂ SO ₄ | 0,05 % водн. р-р ОП-10 |
| Б | 2,9 | БНД 40/60 | 10080 | 7952 | 6991 | 6466 | 5408 | 5034 |
| | | | $K_{a.c.}$ | 0,79 | 0,69 | 0,64 | 0,54 | 0,50 |
| В | 2,6 | | 17990 | 15016 | 13038 | 12096 | 10160 | 9098 |
| | | | $K_{a.c.}$ | 0,83 | 0,72 | 0,67 | 0,56 | 0,51 |
| Г | 1,7 | | 32444 | 27322 | 23737 | 22313 | 19247 | 16985 |
| | | | $K_{a.c.}$ | 0,84 | 0,72 | 0,69 | 0,59 | 0,52 |

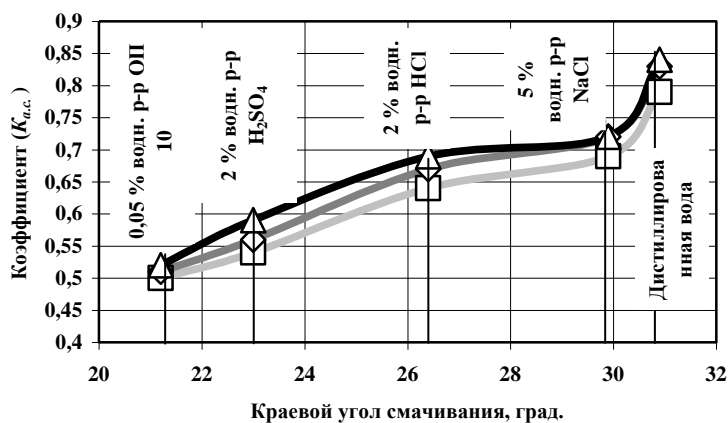


Рис. 3. Зависимости $K_{a.c.}$ асфальтобетонов типов «Б» (□), «В» (◇) и «Г» (△) на битуме БНД 40/60, от краевого угла смачивания средами поверхности гранита.

С учётом изложенных механизмов действия сред, рассмотрено их влияние на долговечность асфальтобетонов различных составов. Важнейшим составляющим асфальтобетона является битум. Общая тенденция изменения $K_{a.c.}$ с увеличением пенетрации одинакова для всех сред (рис. 4). Значение $K_{a.c.}$ существенно уменьшается. Это уменьшение составляет для асфальтобетонов на битуме БНД 40/60 и БНД 130/200 в случае для испытания в воде 0,11; в растворе NaCl 0,15; в растворе HCl 0,19; в растворе H₂SO₄ 0,12; в растворе ОП-10 0,13. Оно качественно и достаточно хорошо количественно совпадает с тенденцией уменьшения изменения сцепления битумов этих марок с гранитом. Количественные отклонения объективны, так как асфальтобетон включает каменные материалы из кислой (гранит) и основной (известняк) пород, а условия миграции сред в случае модели (подложка со слоем битума) и асфальтобетона существенно различны. Кроме того, снижение $K_{a.c.}$ в случае битумов разных марок может быть связано и со снижением оптимального содержания битума на 1 % при переходе от вязкого к маловязкому битуму. Это подтверждается данными табл. 3, в которой показано как уменьшение содержания битума одной марки на 1 % привело к падению $K_{a.c.}$ в случае: воды на 0,07; раствора NaCl – 0,24; раствора HCl – 0,29; раствора H₂SO₄ – 0,22; раствора ОП-10 – 0,21.

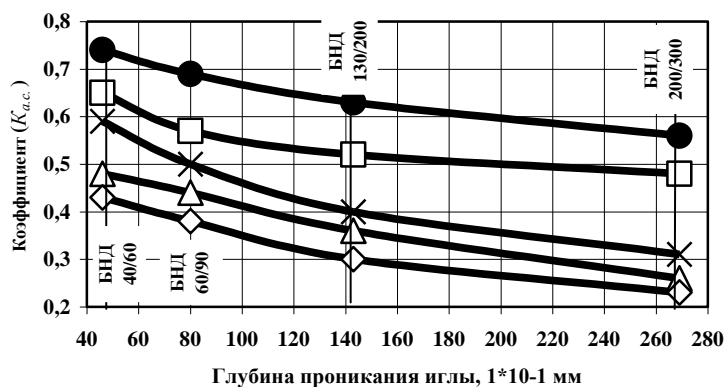


Рис. 4. Зависимость коэффициента устойчивости в агрессивных средах ($K_{a.c.}$) асфальтобетона типа «Б» от вязкости используемых битумов марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 130/200 и БНД 200/300, при напряжении 0,50 МПа: ● – дистиллированная вода; □ – 5 % водный раствор NaCl; × – 2 % водный раствор HCl; △ – 2 % водный раствор H₂SO₄; ◇ – 0,05 % водный раствор ПАВ ОП-10.

Большое снижение $K_{a.c.}$ в случае кислотной среды может быть связано с включением в механизм разрушения проникающей способности кислот (рис. 1г). Опыты на проникание сред сквозь битумную плёнку толщиной 100 мкм показали, что среды с $pH > 6$ не дифундировали сквозь битумную плёнку в течении 60 суток. В тоже время водные растворы кислот просачивались сквозь плёнку битума БНД 40/60 со скоростью 3,7 мкм/сутки, а в битум марки БНД 60/90 – 7,1 мкм/сутки. Кроме того, в случае проникания кислот в асфальтобетон, возможно, их взаимодействие с минеральным порошком (CaCO₃), что может привести к образованию водорастворимых зон, содержащих CaSO₄ и CaCl₂, это может привести к разрыхлению зоны контакта и существенно снизить долговечность асфальтобетона.

Максимальное снижение долговечности, в случае среды с поверхностно-активным веществом, может быть связано с более активным смачиванием по сравнению с другими средами. В этом случае значения поверхностного натяжения среды и битума становятся близкими, молекулы ПАВ покрывают углеводородными радикалами битум, а межфазное поверхностное натяжение на границе раздела фаз (битум – подложка) способствует отслоению средой битума от подложки. Этот механизм был использован В. А. Золотарёвым и А. Бельмеждубом при разработке ускоренного метода оценки водостойчивости асфальтобетона.

Пористость асфальтобетона является одним из факторов снижения долговечности, поскольку с её ростом улучшаются: доступ среды в поры бетона; условия смачивания ею трещин и технологических дефектов; проникание среды сквозь битумную плёнку. Этот фактор сказывается в случае уменьшения содержания битума (табл. 3) и в случае роста содержания щебня (табл. 4). При этом, однако, растёт толщина плёнки на поверхности каменных материалов. Эти два конкурирующих фактора могут привести к непредсказуемым изменениям $K_{a.c.}$

К неоднозначным результатам приводит уплотнение асфальтобетонов под разным давлением (табл. 5). Асфальтобетоны типа «А» на битуме БНД 200/300, уплотнённые под давлением 10 МПа, даже при повышенном водонасыщении оставался более устойчивым во всех принятых средах ($K_{a.c.}$ изменяются в пределах

от 0,74 до 0,58), чем асфальтобетон, уплотнённый под давлением 30 МПа ($K_{a.c.}$ изменяется в пределах от 0,44 до 0,14).

Это же относится и к асфальтобетонам типа «Б» на том же маловязком битуме. В этом случае $K_{a.c.}$ для асфальтобетонов, уплотнённых под давлением 10 МПа, колебалось в пределах $0,76 \div 0,35$, а уплотнённых под давлением 30 МПа – в пределах $0,58 \div 0,23$. В то же время значение стандартного коэффициента водоустойчивости асфальтобетона, уплотнённого большим давлением, существенно выше того, которое присуще асфальтобетону, уплотнённому при 10 МПа (0,81 против 0,72). Этот парадоксальный результат может быть объяснён дробимостью зёрен щебня при большом давлении, что приводит к возникновению трещин, облегчающих средам доступ к границе раздела фаз «битум – подложка». Такое снижение $K_{a.c.}$ происходит на фоне намного больших абсолютных показателей долговечности асфальтобетонов, полученных при большом давлении и испытанных как на воздухе, так и в средах.

Таблица 5

Показатели устойчивости асфальтобетонов типа «А» и «Б» на битуме марки БНД 200/300 и типа «Б» на БНД 40/60, уплотнённых при 10 МПа и 30 МПа (температура испытаний 21 °С)

| Тип асфальтобетона | Битум | | Режим уплотнения, МПа | $K_{e^{15}}$ | Время до разрушения асфальтобетона (с) при напряжениях (МПа) в различных агрессивных средах | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|---------------|-----------------------|--------------|---|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|--|-------------------|------------------------|-------------------|
| | Марка | Содержание, % | | | Воздух | | Дис. вода | | 5 % водн. р-р NaCl | | 2 % водн. р-р HCl | | 2 % водн. р-р H ₂ SO ₄ | | 0,05 % водн. р-р ОП-10 | |
| | | | | | 0,50 | 1,0 | 0,50 | 1,0 | 0,50 | 1,0 | 0,50 | 1,0 | 0,50 | 1,0 | 0,50 | 1,0 |
| А | БНД 200/300 | 3,0 | 10 | 0,72 | 367 | 10 | 270 | 8 | 252 | 7 | 246 | 7 | 238 | 7 | 214 | 6 |
| | | | | | $K_{a.c.}$ | | 0,74 | 0,80 | 0,69 | 0,70 | 0,67 | 0,70 | 0,65 | 0,70 | 0,58 | 0,60 |
| | | | 30 | 0,81 | 2075 | 47 | 907 | 22 | 632 | 15 | 434 | 11 | 387 | 10 | 292 | 8 |
| | | | | | $K_{a.c.}$ | | 0,44 | 0,47 | 0,30 | 0,32 | 0,21 | 0,23 | 0,19 | 0,21 | 0,14 | 0,17 |
| Б | БНД 200/300 | 3,5 | 10 | 0,74 | 1,6·10 ³ | 37 | 1,2·10 ³ | 29 | 1,0·10 ³ | 24 | 0,7·10 ³ | 17 | 0,7·10 ³ | 16 | 0,6·10 ³ | 14 |
| | | | | | $K_{a.c.}$ | | 0,76 | 0,78 | 0,61 | 0,65 | 0,45 | 0,46 | 0,42 | 0,43 | 0,35 | 0,38 |
| | | | 30 | 0,82 | 3,9·10 ³ | 82 | 2,3·10 ³ | 52 | 2,1·10 ³ | 49 | 1,2·10 ³ | 28 | 1,1·10 ³ | 26 | 0,9·10 ³ | 20 |
| | | | | | $K_{a.c.}$ | | 0,58 | 0,63 | 0,53 | 0,60 | 0,30 | 0,34 | 0,27 | 0,32 | 0,23 | 0,24 |
| | БНД 40/60 | 5,0 | 10 | 0,77 | 9,8·10 ³ | 214 | 7,1·10 ³ | 159 | 6,0·10 ³ | 138 | 4,0·10 ³ | 91 | 4,0·10 ³ | 90 | 3,2·10 ³ | 67 |
| | | | | | $K_{a.c.}$ | | 0,72 | 0,76 | 0,61 | 0,64 | 0,41 | 0,43 | 0,41 | 0,42 | 0,32 | 0,31 |
| | | | 30 | 0,86 | 459·10 ³ | 10·10 ³ | 373·10 ³ | 8·10 ³ | 350·10 ³ | 7·10 ³ | 317·10 ³ | 6·10 ³ | 279·10 ³ | 6·10 ³ | 258·10 ³ | 5·10 ³ |
| | | | | | $K_{a.c.}$ | | 0,81 | 0,79 | 0,76 | 0,69 | 0,69 | 0,64 | 0,61 | 0,59 | 0,56 | 0,52 |

При высокой марочной вязкости битума (БНД 40/60) и уплотнении давлением 30 МПа ситуация коренным образом меняется: значение $K_{a.c.}$ асфальтобетона, уплотнённого более высоким давлением, выше того, что отвечает слабо уплотнённому асфальтобетону. В частности, в случае водной среды это – 0,81 против 0,72. Стандартные коэффициенты водоустойчивости в этом случае также выше: 0,86 против 0,77. Характерно, что для определения стандартного коэффициента необходимо 15 суток, а предлагаемого в работе 5 суток.

В реальных условиях асфальтобетон работает в широком диапазоне температур. Стандарт предполагает, что долговечность асфальтобетона можно прогнозировать по значениям показателей прочности при 0 °С, 20 °С и 50 °С. При этом учёт влияния среды при температурах 0 °С и 50 °С не предусматривается. В тоже время в термофлуктуационной теории прочности твёрдых тел температура рассматривается как важнейший фактор разрушения, определяющий долговечность. В отношении асфальтобетона, как термопластичного материала, понижение температуры приводит к переходу асфальтобетона из вязкоупругого в хрупкое состояние, по причине изменения сил адгезионных и когезионных связей. При постоянном напряжении это сказывается на значениях долговечности асфальтобетона: при равных напряжениях она уменьшается с повышением температуры (рис. 5).

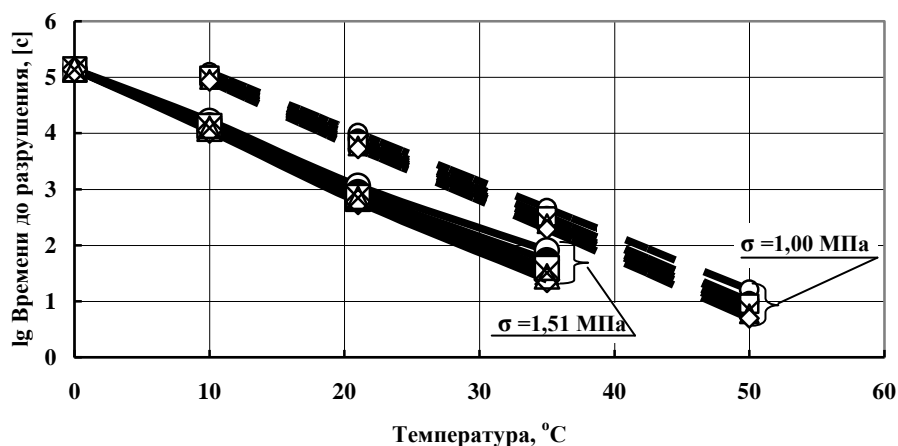


Рис. 5. Зависимость времени до разрушения асфальтобетона типа «Б» с 5,0 % битума БНД 40/60, от температуры, испытанного при напряжениях 1,00 МПа и 1,51 МПа в различных агрессивных средах: ○ – на воздухе; ● – в дистиллированной воде; □ – в 5 % водном растворе NaCl; × – в 2 % водном растворе HCl; △ – в 2 % водном растворе H₂SO₄; ◇ – в 0,05 % водном растворе ПАВ ОП-10.

Влияние среды сказывается тем больше, чем выше температура. При температуре 50 °С действие среды понижает долговечность в 3,3 раза. С понижением температуры её влияние уменьшается и при 0 °С практически не проявляется. Из этого можно сделать вывод, что обработка асфальтобетонных покрытий растворами солей при низких температурах не приводит к разрушению покрытий. Эти растворы и смеси оказывают влияние в период оттепели. Заблаговременная очистка покрытий может предупредить их коррозионное разрушение.

В пятом разделе освещены практические аспекты применения результатов исследования.

На основании результатов выполненных исследований разработан метод ускоренного определения коэффициента водоустойчивости асфальтобетона, основанный на учёте температурно-временной зависимости сцепления битумной плёнки с подложкой в водной среде. Он изложен в Методических указаниях «Экспрес-метод визначення водостійкості асфальтобетонів дорожніх та аеродромних» МВ 218-02071168-607:2007. Метод включён в проект: Зміна № 1 ДСТУ Б В.2.7-119-2003, который находится на утверждении в „Мінрегіонбуд”.

В процессе выполнения исследований разработана методика автоматизированного ускоренного и более точного, чем предусмотрено в ДСТУ Б В.2.7-81-98, определения сцепления битума с подложкой. Методика утверждена Техническим советом Государственной службы автомобильных дорог Украины как «Методика по визначенню показника зчеплення бітумних в'язучих з поверхнею скла та кам'яних матеріалів з використанням ЕОМ» М 218-02071168-651:2008.

Предложенный коэффициент устойчивости асфальтобетона в жидких агрессивных средах ($K_{a.c.}$) при одновременном действии нагрузок позволяет количественно определить влияние среды на долговечность асфальтобетона. Определение этого коэффициента требует в 3÷4 раза меньших временных затрат в сравнении с теми, которые затрачиваются при определении прочности асфальтобетона в соответствии с действующим стандартом.

ВЫВОДЫ

1. На основании теоретического анализа и экспериментальных исследований показана возможность использования принципиальных положений термофлуктуационной теории прочности твёрдых тел для объяснения механизма разрушения асфальтобетона при одновременном действии на него нагрузок и жидких агрессивных сред. В соответствии с этим в качестве критерия долговечности асфальтобетона предлагается принять время от начала его загрузки при чистом изгибе до разрушения. Влияние агрессивных сред на долговечность асфальтобетона предложено оценивать коэффициентом ($K_{a.c.}$), представляющим собой отношение времени до его разрушения в среде ко времени до разрушения на воздухе при заданном напряжении.
2. Агрессивные среды снижают долговечность асфальтобетона за счёт отслоения битумной плёнки от поверхности минеральных материалов, то есть за счёт преодоления её сцепления с поверхностью. Сопротивление отслаивающему действию сред тем меньше, чем меньше краевой угол смачивания средой минеральной подложки и плёнок битума. Диффузия агрессивных сред сквозь слой битума усиливается в случае понижения рН среды (менее 6), уменьшения консистенции битума, уменьшения толщины плёнки битума.
3. Изученные среды по своей агрессивности распределяются следующим образом: растворы ПАВ, серной кислоты, соляной кислоты, хлорида натрия, вода. В такой же последовательности распределяются и показатели сцепления плёнки битума с подложкой в этих средах. Повышенную устойчивость в изученных средах (кроме

растворов кислот) проявляют плёнки битума на поверхности карбонатных каменных материалов (известняк, мрамор), меньшую – на поверхности кислых каменных материалов (гранит, гранодиорит, кварцит). Сцепление битумов с подложкой зависит от их консистенции. Во всех средах сцепление тем больше, чем выше марочная вязкость битумов (меньше пенетрация) одной природы, полученных по одной технологии, что обусловлено повышенным содержанием в них адгезионно-активных смол и асфальтенов, и чем ниже температура, что связано с усилением межмолекулярных связей на границе раздела фаз.

4. Зависимости долговечности асфальтобетона при совместном действии агрессивных сред и нагрузок, также как аналогичные зависимости на воздухе в области положительных температур, подчиняются степенному уравнению термофлуктуационной теории прочности твёрдых тел Г. М. Бартенева – С. Н. Журкова. Постоянные этого уравнения позволяют оценить уровень долговечности для конкретного объекта и её чувствительность к действующим напряжениям и агрессивным средам. В случае кислотных сред имеет место их проникание сквозь плёнку битума, что может влиять на характер зависимостей долговечности от напряжений в области их малых значений.
5. Влияние сред на долговечность асфальтобетона главным образом обусловлено качеством сцепления битума с минеральной подложкой. Кинетическая сущность совместного воздействия механических напряжений и рабочих сред проявляется в степени снижения долговечности в зависимости от уровней напряжённого состояния. С понижением уровня напряжённого состояния вклад сред в разрушение асфальтобетона возрастает, так как среды успевают смачивать стенки трещин, заполнять трещины и способствовать их развитию в соответствии с эффектом П. А. Ребиндера. При высоких напряжениях или скоростях деформирования агрессивное влияние сред проявляется в меньшей степени. При больших скоростях разрушения влияние сред на долговечности асфальтобетона не сказывается.
6. Состав, структура и состояние асфальтобетонов являются активными факторами усиления или ослабления действия агрессивных сред на долговечность асфальтобетона. Проявление агрессивного воздействия сред на долговечность асфальтобетона уменьшается: с повышением плотности асфальтобетона за счёт лучшего уплотнения или увеличения содержания битума; с применением битумов повышенной вязкости; с повышением адгезионного взаимодействия между битумом и подложкой; с использованием асфальтобетонов плотной текстуры, то есть с последовательным переходом от асфальтобетонов типа «А» к типам «Б», «В» и «Г»; при работе асфальтобетона при низких температурах, близких к нулю.
7. Соответствие результатов и тенденций изменения сцепления битума с твёрдой подложкой и долговечности асфальтобетона в различных средах и обусловленность долговечности адгезионными процессами, протекающими на границе раздела фаз между битумом и поверхностью минеральных материалов, свидетельствует о теоретической обоснованности и практической полезности использования в качестве критерия оценки сопротивления асфальтобетона действию жидких сред предложенного коэффициента $K_{a.c.}$. С учётом этого

разработаны метод оценки определения этого коэффициента и метод ускоренной оценки долговременной водоустойчивости асфальтобетона.

8. Результаты исследований положены в основу нормативных документов, утверждённых Техническим советом Государственной службы автомобильных дорог Украины: «Экспрес-метод визначення водостійкості асфальтобетонів дорожніх та аеродромних» МВ 218-02071168-607:2007 та «Методика по визначенню показника зчеплення бітумних в'язучих з поверхнею скла та кам'яних матеріалів з використанням ЕОМ» М 218-02071168-651:2008. Они используются в учебном процессе при чтении курсов «Строительное материаловедение» и «Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов».

Основные положения диссертационной работы опубликованы в таких работах:

1. Єфремов С. В. Взаємозв'язок довготривкої міцності асфальтобетонів з поверхневими властивостями агресивних рідин / Єфремов С. В., Золотарьов В. О. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ, УТУ. – 1994. – Вип. 52. – С. 98÷102.

Личный вклад автора – выполнение экспериментальных исследований и анализ полученных результатов эксперимента.

2. Жданюк В. К. До питання про вплив походження кам'яних матеріалів на кути змочування їх поверхні / Жданюк В. К., Єфремов С. В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ, УТУ. – 1997. – Вип. 54. – С. 107÷110.

Личный вклад автора – определение краевых углов смачивания и систематизация полученных результатов эксперимента.

3. Золотарёв В. А. Влияние температурно-временного фактора на водостойкость асфальтовых систем / Золотарёв В. А., Ефремов С. В. // Сборник трудов по технической химии. Киев. – 1997. – С. 402÷405.

Личный вклад автора – выполнение экспериментальных исследований и анализ полученных результатов эксперимента.

4. Zolotarev V. A. Durability of asphalt concrete at static creep test / Zolotarev V. A., Efremov S. V., Goncharenko F. P. // Proceedings of the fifth international Rilem symposium MTBM «Mechanical test for bituminous materials». Lyon, France. – 14-16 mai 1997. – P. 255÷261.

Личный вклад автора – определение и систематизация поверхностных свойств агрессивных сред; выполнение испытаний по определению времени до разрушения асфальтобетона.

5. Zolotarev V. A. Time and temperature influence on asphalt concrete water-resistance / Zolotarev V. A., Efremov S. V. // IV international conference «Durable and Road Pavement». Kielce, Poland – May 1998. – P. 177÷182.

Личный вклад автора – выполнение экспериментальных исследований.

6. Гнатенко Г. Ф. Досвід використання поверхнево-активних речовин для підвищення водостійкості асфальтобетонного покриття / Гнатенко Г. Ф., Єфремов С. В., Жданюк В. К., Золотарьов В. О. // Автошляховик України. – 1999. – № 1. – С. 38÷39.

Личный вклад автора – определение и систематизация поверхностных свойств битума; выполнение испытаний асфальтобетонных смесей и вырубков.

7. Соломенцев А. Б. Повышение смачиваемости материалов битумом с добавками класса имидазолинов / Соломенцев А. Б., Золотарёв В. А., Круть В. В., Ефремов С. В. // Известия ВУЗов “Строительство и архитектура” – 1999. – № 8 – С. 43÷45.

Личный вклад автора – определение и систематизация краевых углов смачивания стекла битумами.

8. Золотарёв В. А. Зависимость водостойкости асфальтобетона от температуры и времени / Золотарёв В. А., Ефремов С. В. // Вестник ХГАДТУ. – 2000. – Вып. 12-13. – С. 145÷147.

Личный вклад автора – определение и систематизация краевых углов смачивания минеральных поверхностей битумом и сцепления с ними; выполнение экспериментальных исследований асфальтобетонов.

9. Золотарёв В. А. Смачивание как фактор, определяющий температуры перемешивания асфальтобетонных смесей / Золотарёв В. А., Писанко А. А., Ефремов С. В., Пыриг Я. И., Галкин А. В. // Вісник ДДАБА. – 2002. – Вип. 1(32). – С. 17÷21.

Личный вклад автора – определение и систематизация поверхностных свойств битума.

10. Zolotarev V. A. On a necessity of taking into account the wetting phenomenon whon softing the mixing temperature of the asphalt concrete mixtures / Zolotarev V. A., Zinchenko V. N., Yefremov S. V., Pyrig Ya. I., Halkin A. V. // Proceeding IX international Conference “Durable and Safe Road. Pavements.” – Kielce, Poland. – May 2003. – P. 221÷226.

Личный вклад автора – определение и систематизация поверхностных свойств битума.

11. Золотарёв В. А. Особенности экспресс-метода водоустойчивости асфальтобетона / Золотарёв В. А., Агеева Е. Н., Ефремов С. В., Чугуенко С. А. // Автошляховик України. – 2003. – № 6. – С. 25÷27.

Личный вклад автора – выполнение стандартных испытаний асфальтобетона.

12. Золотарьов В. О. Використання ЕОМ для визначення показника зчеплення бітуму з поверхнею скла / Золотарьов В. О., Єфремов С. В., Агєєва О. М., Пиріг Я. І., Кудрявцева С. В., Перм'яков К. В. // Автошляховик України. – 2005. – № 3. – С. 30÷33.

Личный вклад автора – разработка, создание, тарировка установки и методики испытаний по определению площади сцепления битума со стеклом; выполнение экспериментальных исследований и анализ полученных результатов эксперимента.

13. Ефремов С. В. Определение сцепления битума с каменными материалами в асфальтобетоне фотометрическим методом / Ефремов С. В. // Вестник ХНАДУ. – 2005. – Вып. 30. – С. 190÷193.

14. Ефремов С. В. Влияние агрессивных сред на долговечность асфальтобетонов с различным содержанием вяжущего / Ефремов С. В. // Материалы международной научно-практической интернет-конференции «Современные

методы строительства дорог и обеспечение безопасности движения», БГТУ им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия. – 2007. – С. 120÷126.

15. Золотарьов В. О. Адгезійна стійкість у водному середовищі бітумів, модифікованих полімерами і поверхнево-активними речовинами / Золотарьов В. О., Кудрявцева С. В., Єфремов С. В., Агеева О. М. // Автошляховик України. – 2007. – № 2. – С. 34÷37.

Личный вклад автора – выполнение стандартных испытаний асфальтобетона.

16. Золотарёв В. А. Совместное влияние полимеров и поверхностно-активных веществ на сцепление битумов и водостойкость асфальтобетонов / Золотарёв В. А., Кудрявцева С. В., Ефремов С. В., Агеева Е. Н. // Наука и техника в дорожной отрасли. Москва, Россия. – 2007. – № 3. – С. 33÷35.

Личный вклад автора – выполнение стандартных испытаний асфальтобетона.

17. Ефремов С. В. Влияние степени уплотнения асфальтобетонов, работающих в условиях воздействия агрессивных сред, на их долговечность / Ефремов С. В. // Вестник ХНАДУ. – 2008. – Вып. 40. – С. 102÷108.

18. Ефремов С. В. Роль температурного фактора в процессе разрушения асфальтобетона под совместным воздействием механических нагрузок и агрессивных сред / Ефремов С. В. // Вісник ДНАБА. – 2009. – Вип. 1(75). – С. 20÷26.

АНОТАЦІЯ

Єфремов Сергій Всеволодович. Довговічність асфальтобетону в умовах дії агресивних середовищ. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та виробы. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2010.

На основі критичного аналізу стану питання і проведених експериментальних досліджень визначено механізм руйнування асфальтобетону, що працює в умовах сумісної дії агресивних середовищ і механічних навантажень.

Встановлено, що руйнуюча дія агресивних середовищ визначається їх поверхневими властивостями, від яких залежить інтенсивність процесів руйнування асфальтобетону.

Визначено зв'язок між зчепленням бітуму з різними за природою мінеральними поверхнями і довговічністю асфальтобетону, до складу якого вони входять.

Результатами випробувань за визначенням часу до руйнування асфальтобетону показано, що при зменшенні вмісту бітуму і його в'язкості, а також при збільшенні вмісту щебеня в асфальтобетоні знижується його стійкість проти дії агресивних середовищ. Недоущільнення асфальтобетонної суміші приводить до збільшення насичення середовищем, що є причиною зниження корозійної стійкості

асфальтобетону. Зниження температури випробувань асфальтобетону зменшує агресивну дію середовищ, а при 0 °С їх дія, практично, не виявляється.

Ключові слова: Довговічність, асфальтобетон, агресивні середовища, бітум, мінеральні матеріали, гранулометричний склад, ущільнення.

АННОТАЦІЯ

Ефремов Сергей Всеволодович. Долговечность асфальтобетона в условиях воздействия агрессивных сред. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2010 г.

На основе критического анализа состояния вопроса и проведённых экспериментальных исследований определён механизм разрушения асфальтобетона, работающего в условиях совместного воздействия агрессивных сред и механических нагрузок. В соответствии с этим механизмом агрессивные среды снижают долговечность асфальтобетона за счёт отслоения битумной плёнки от поверхности каменных материалов, то есть за счёт преодоления её сцепления с поверхностью.

Установлено, что разрушающее действие агрессивных сред определяется их физическими поверхностными свойствами, от которых зависит интенсивность процессов разрушения асфальтобетона.

На основании экспериментальных данных показано, что кислотные агрессивные среды проникают в битум и их диффузия сквозь слой битума усиливается в случаях: понижения рН среды (менее 6); уменьшения консистенции битума; уменьшения толщины плёнки битума.

Определена связь между сцеплением битума с различными по природе минеральными поверхностями и долговечностью асфальтобетонов, в состав которых они входят. Сопротивление отслаивающему действию сред тем меньше, чем меньше краевой угол смачивания средой минеральной подложки и плёнок битума, то есть больше её активность. Принятые к исследованию среды по своей активности распределяются от большей к меньшей следующим образом: растворы ПАВ, серной кислоты, соляной кислоты, хлорида натрия, вода. Ранжирование сред по агрессивности их воздействия воспроизводится как при определении сцепления битума с минеральными материалами, так и при определении долговечности асфальтобетонов, испытанных в этих средах. Сцепление битумов с подложкой зависит от их консистенции. Во всех средах сцепление тем больше, чем выше марочная вязкость битумов одной природы, полученных по одной технологии, что обусловлено повышенным содержанием в них адгезионно-активных смол и асфальтенов, и чем ниже температура, что в свою очередь связано с усилением межмолекулярных связей на границе раздела фаз.

Результатами испытаний по определению времени до разрушения асфальтобетона показано, что при уменьшении содержания битума и его вязкости, а также при увеличении содержания щебня в асфальтобетоне, то есть с последовательным переходом от асфальтобетонов типа «Г» к типам «В», «Б» и «А»,

снижается его устойчивость против действия агрессивных сред. Недоуплотнение асфальтобетонной смеси приводит к увеличению насыщения средой, что является причиной снижения коррозионной устойчивости асфальтобетона. Снижение температуры испытаний асфальтобетона уменьшает агрессивное действие сред, а при 0 °С их действие, практически, не проявляется. Влияние сред на долговечность асфальтобетона обусловлено качеством сцепления битума с минеральной подложкой. Кинетическая сущность совместного воздействия механических напряжений и рабочих сред выражается в степени проявления их агрессивности в зависимости от уровней напряжённого состояния. С понижением уровня напряжённого состояния вклад сред в разрушение асфальтобетона возрастает, так как среды успевают смачивать стенки трещин, заполнять трещины и способствовать их развитию в соответствии с эффектом П. А. Ребиндера. Увеличение напряжения в асфальтобетоне уменьшает долю коррозионного действия сред, поскольку среды не успевают за развитием трещин. Решающим фактором при этом становятся механические нагрузки.

Теоретически обоснована и экспериментально показана возможность регулирования способности асфальтобетона противостоять разрушающему действию агрессивных сред. В качестве критерия оценки долговечности асфальтобетона, работающего в условиях действия агрессивных сред, предложен коэффициент устойчивости ($K_{a.c.}$), представляющим собой отношение времени до его разрушения в среде ко времени до разрушения на воздухе при заданном напряжении. Результаты исследований положены в основу разработанных нормативных документов, утверждённых Техническим советом Государственной службы автомобильных дорог Украины: «Експрес-метод визначення водостійкості асфальтобетонів дорожніх та аеродромних» МВ 218-02071168-607:2007 и «Методика по визначенню показника зчеплення бітумних в'язучих з поверхнею скла та кам'яних матеріалів з використанням ЕОМ» М 218-02071168-651:2008.

Ключевые слова: Долговечность, асфальтобетон, агрессивные среды, битум, минеральные материалы, гранулометрический состав, уплотнение.

ABSTRACT

Yefremov Sergey Vsevolodovich. Longevity asphalt concrete in the conditions of influence of aggressive environments. - the Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. on a speciality 05.23.05 - building materials and constructions. – The Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2010.

On the basis of the critical review of a condition of a question and the spent experimental researches the destruction mechanism asphalt concrete, working in the conditions of joint influence of aggressive environments and mechanical loadings is defined.

It is established that destroying action of aggressive environments is defined by their physical superficial properties on which intensity of processes of destruction asphalt concrete depends. Chemical properties of aggressive environments strengthen intensity of these processes.

Communication between coupling of bitumen with various by the nature mineral surfaces and durability asphalt concrete into which structure they are included is defined.

By results of tests by definition of time before destruction asphalt concrete it is proved that at reduction of the maintenance of bitumen below its optimum quantity and its viscosity, and also at increase in the maintenance of rubble in asphalt concrete its stability against action of aggressive environments decreases. Undercompaction asphalt concrete to a mix leads to increase environment's saturation that is at the bottom of decrease in corrosion stability asphalt concrete. Decrease in temperature of tests asphalt concrete reduces aggressive action of environments, and at 0 °C action of environments, practically, stops.

Keywords: Longevity, asphalt concrete, aggressive environments, bitumen, stone materials, granulometry structure, consolidation.