

ГУРОВА Елена Валентиновна

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ТЕПЛОСТОЙКОСТИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ БИТУМНЫХ МАСТИК ВВЕДЕНИЕМ
АСБОФРИКЦИОННЫХ ОТХОДОВ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж 2004

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете на кафедре «Конструкции зданий и сооружений»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Ярцев Виктор Петрович

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки РФ
и республики Татарстан,
доктор технических наук, профессор
Хозин Вадим Григорьевич

кандидат технических наук, доцент
Еремин Владимир Георгиевич

Ведущая организация ОАО «Тамбовгражданпроект»,
г. Тамбов

Защита состоится 12 ноября 2004 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.033.01 в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. XX-летия Октября, д. 84, ауд. 20, корпус 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.033.01



В.В. Власов

Подписано к печати 06.10.2004
Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Объем: 1,16 усл. печ. л.; 1,25 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 656

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современные темпы и огромный размах строительства в нашей стране требуют производства таких строительных материалов, которые соответствовали бы условиям эксплуатации в самых различных климатических районах, обеспечивая надежность и долговечность зданий и сооружений. Нефтяной битум является самым распространенным материалом для кровельных и гидроизоляционных работ. На кровлю и гидроизоляцию оказывают воздействие следующие факторы: атмосферные осадки (дождь, снег, град), ветер, ультрафиолетовое излучение, перепады температур, жизнедеятельность насекомых и микроорганизмов, механические нагрузки. В чистом виде по своей природе нефтяные битумы не могут обеспечить требуемую долговечность для кровли и гидроизоляции. Одним из путей решения данной проблемы является создание битумных композиционных материалов. Применение полиминеральных и органических добавок на основе техногенных отходов производства позволяет получить улучшенные материалы, что решает не только проблемы повышения качества битума, но и утилизации отходов местных предприятий.

Актуальность данной работы обусловлена созданием долговечных битумных материалов с повышенными теплофизическими свойствами путем физической модификации состава. Изучение закономерностей разрушения и деформирования битумных материалов с термоактивационных позиций позволяет при прогнозировании их долговечности кроме нагрузки, действующей на материал, учитывать влияние температуры.

Целью работы является получение строительных битумных мастик с повышенными эксплуатационными характеристиками и разработка методики прогнозирования их долговечности с позиций кинетической концепции разрушения и деформирования.

В работе поставлены следующие задачи:

- на основе физических представлений о разрушении и деформировании полимерных композитов выбрать для строительных битумов наиболее эффективный наполнитель из крупнотоннажных техногенных отходов;
- изучить влияние наполнителя на длительные механические и теплофизические характеристики строительных битумов;
- изучить термоактивационные закономерности разрушения и деформирования битумов и битумных композитов при различных видах нагружения;
- исследовать влияние основных эксплуатационных факторов на физические и эмпирические константы, определяющие долговечность и теплостойкость битумных материалов;
- уточнить методику прогнозирования долговечности, прочности и теплостойкости органических строительных материалов для битумных мастик, используемых при устройстве кровли, герметизации и гидроизоляции;
- дать рекомендации по составу битумных композиций в зависимости от назначения материала.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- дано физическое обоснование выбора наполнителя (асбофрикционные отходы) для повышения долговечности и теплостойкости строительных битумов;
- изучено влияние асбофрикционных отходов на механические и теплофизические характеристики битумов марок БН 70/30 и БН 90/10 при вариации основных эксплуатационных параметров (напряжения, температуры, среды);
- выявлены закономерности разрушения и деформирования битумных материалов с позиций кинетической концепции; показана возможность применения для оценки их долговечности модифицированных экспоненциальных и степенных уравнений вида Журкова С.Н. и Бартенева Г.М.;
- получены значения физических и эмпирических констант чистых и наполненных битумов, определяющих их долговечность и теплостойкость при разрушении и деформировании;
- разработана методика прогнозирования долговечности и теплостойкости для битумных композиций;
- даны рекомендации по использованию предложенных битумных композиций для устройства кровли, герметизации и защиты строительных конструкций.

Достоверность полученных экспериментальных результатов обеспечивается проведением экспериментов с необходимым количеством повторных испытаний; статистической обработкой экспериментальных данных; применением метода математического планирования эксперимента; сопоставлением результатов исследований с аналогичными данными других авторов.

Практическое значение работы. Разработаны составы битумных композитов с повышенными

эксплуатационными параметрами различного назначения. Предложена методика прогнозирования долговечности строительных битумов в реальных условиях эксплуатации. Даны рекомендации по их применению в качестве гидроизоляции и герметика строительных конструкций, а также при устройстве и ремонте кровли.

Внедрение результатов. Разработанные битумные композиты использовались ООО «Тамбовспецстроймонтаж» и ОАО «Тамбовхимпромстрой» при строительстве и реконструкции объектов в г. Тамбове. Результаты исследований использованы в учебном процессе Тамбовского государственного технического университета при изучении дисциплины «Строительные материалы».

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на VI–IX научных конференциях ТГТУ (Тамбов, 2001 – 2004); Международной научно-практической конференции «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов на пороге XXI века» (Белгород, 2000); Международных научно-практических конференциях «Композиционные строительные материалы. Теория и практика» (Пенза, 2002, 2003); Международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: Теория и практика» (Пенза, 2002); X Российской конференции по теплофизическим свойствам веществ (Казань, 2002); IV Международной научно-практической конференции «Проблемы строительства, инженерного обеспечения и экологии городов» (Пенза, 2002); V Международной конференции «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения» (Санкт-Петербург, 2003); Четвертой международной теплофизической школе «Теплофизические измерения в начале XXI века» (Тамбов, 2001); Пятой международной теплофизической школе «Теплофизические измерения при контроле и управлении качеством» (Тамбов, 2004).

Публикации. По результатам исследований опубликован 21 печатный труд, среди них 13 статей, 7 тезисов докладов и методические указания к лабораторным работам.

Автор защищает:

- предложенные составы строительных битумных мастик, наполненных асбофрикционными отходами;
- результаты исследований влияния наполнителя на эксплуатационные характеристики строительных битумов при изменении и вариации нагрузки, температуры и внешней среды;
- результаты исследований влияния наполнителя на закономерности разрушения и деформирования битумных материалов и характер изменения физических и эмпирических констант, определяющих их долговечность и теплостойкость;
- методику прогнозирования долговечности и теплостойкости битумных композитов;
- рекомендации по применению разработанных битумных композитов при герметизации и гидроизоляции строительных конструкций, устройстве и ремонте кровли.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов и содержит 206 страниц машинописного текста, включая 34 таблицы, 87 рисунков, список литературы из 165 наименований и 4 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели исследований и основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе **проведен анализ литературных данных, посвященных исследованию физико-механических, химических и реологических свойств битумов. Битумы нашли широкое применение в строительстве в качестве кровельных, гидроизоляционных и антикоррозионных материалов.**

Значительный вклад в изучение свойств битумов и способов их модификации внесли работы Горшениной Г.И., Гуна Р.Б., Кисиной А.М., Колбановской А.С., Куценко В.Н., Михайлова Н.В., Печеного Б.Г., Розенталя Д.А., Руденской И.Н., Руденского А.В., Рыбьева И.А., Сунгатовой З.О., Сюняева З.И., Сюняева Р.З., Хозина В.Г., Хойберга Дж. и др.

Рассмотрены способы повышения эксплуатационных свойств битумов путем совершенствования технологии их получения, пластификацией и наполнением.

Показано, что значительное повышение эксплуатационных показателей битумов достигается введением модифицирующих технологических добавок. Рассмотрено влияние вида и количества наполнителей на свойства битумов. Полимерные модификаторы (типа АПП, СБС, ЭПБ) являются наиболее эф-

фективными, однако самыми дорогостоящими. Использование в качестве наполнителей крупнотоннажных отходов промышленности решает не только проблему повышения долговечности и теплостойкости битума, но и утилизации и экологичности.

Приведены способы прогнозирования долговечности битумных материалов. Как известно, битумы являются термопластичными материалами и их механические свойства изменяются в широких пределах при переходе от жидкого состояния в условиях высоких температур до твердого состояния при низких температурах. Поэтому битумы следует рассматривать как тела различной степени пластичности. Теория деформирования материалов различной степени пластичности, занимающих промежуточное положение между твердыми телами и жидкостями, находится еще в стадии формирования, встречаются расхождения в терминологии, нет общей теории, охватывающей на единой основе весь спектр реологических свойств.

В настоящее время наибольшее развитие при оценке явления статической усталости и для прогнозирования долговечности материалов получила молекулярно-кинетическая концепция разрушения. Фроловой М.К., Кисиной А.М., Куценко В.Н. предложено использовать формулу Журкова С.Н. для прогнозирования долговечности полимербитумов. Однако они не учитывали явление смещения полюса и априори принимали предэкспоненту равную 10^{-13} с, что, как известно, для многих полимерных материалов не соответствует действительности.

Во **второй главе** описаны методические вопросы.

В качестве объектов исследований взяты строительные битумы марок БН 70/30 и БН 90/10. В качестве наполнителя битумов использовали асбофрикционные отходы (АФО), утилизируемые с Тамбовского завода асбесторезинотехнических изделий «АРТИ»; отходы керамзита (в виде порошка), образующиеся в процессе его производства; древесную стружку и муку.

Описаны приборы и последовательность проведения необходимых стандартных испытаний (КиШ, пенетрация), а также водопоглощение и возгораемость полученных битумных мастик.

Для проведения длительных и кратковременных механических испытаний при разных видах нагружения (растяжении, срезе, сжатии и пенетрации) использовали специальные стелды и установку рычажного типа. Линейное термическое расширение битумных материалов изучали с помощью оптического дилатометра. Коэффициент теплопроводности измеряли на приборе ИТ-3.

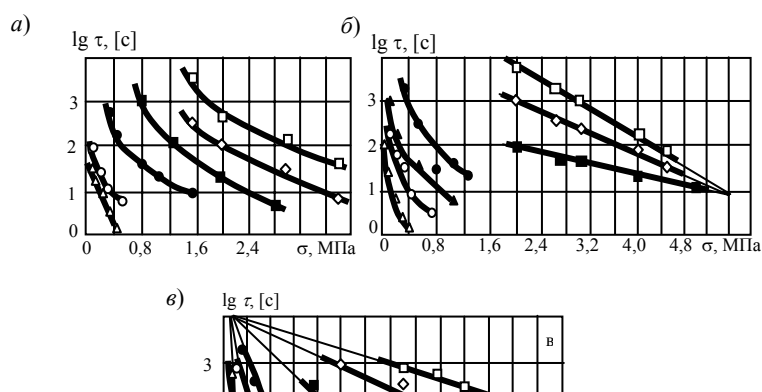
Изложены методики определения физических и эмпирических констант при разрушении и деформировании, а также приведены формулы для расчета основных параметров работоспособности: долговечности, прочности и теплостойкости, а также скорости деформации.

При исследовании долговечности битумных материалов использована методика математического планирования эксперимента, разработанная Буниной Л.О. для термопластов. Ее применение позволяет получить необходимую информацию при минимальном количестве испытываемых образцов. Для получения надежных результатов экспериментальные данные подвергались статистической обработке по программам Konstanta, Exel и Grafddiffer.

В **третьей главе** теоретически и экспериментально обоснован выбор наиболее эффективного наполнителя.

Результаты длительных механических и кратковременных механохимических испытаний (пенетрация, водопоглощение, горючесть) битумных материалов, наполненных различными техногенными отходами промышленных предприятий (АФО, керамзитовая крошка, древесные стружка и мука), показали, что наиболее высокими эксплуатационными свойствами обладают материалы, наполненные АФО (минерально-органический мелкодисперсный порошок серого цвета с размерами частиц 0,04...0,12 мм).

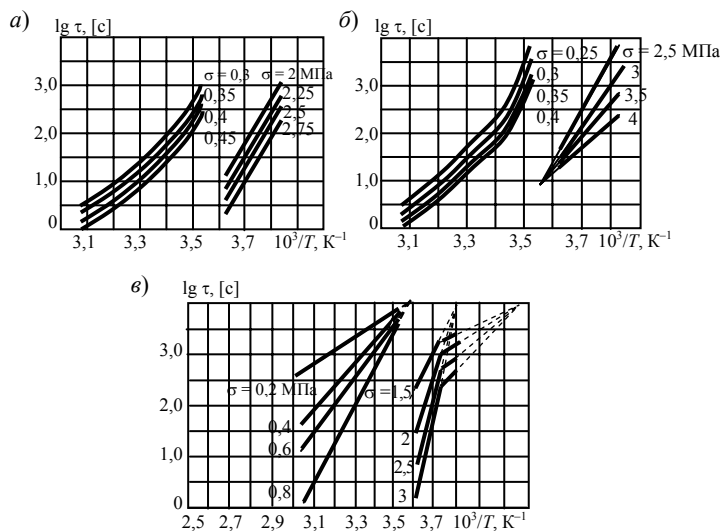
С позиций термофлуктуационной (кинетической) концепции изучены закономерности разрушения и деформирования битумных материалов, наполненных АФО, при разных видах нагружения (растяжении, срезе, сжатии и пенетрации) в широком диапазоне постоянных напряжений и температур.



Для всех композиций при растяжении и срезе зависимости в координатах $\lg \tau - \sigma$ при положительных температурах имеют нелинейный характер (пример показан на рисунке 1). Такое поведение характерно для эластичных материалов, например – каучуков и резин.

Поведение битума при отрицательных температурах (от 0 до минус 10 °С) существенно отличается от поведения при плюсовых температурах: во-первых, прочность значительно повышается; во-вторых, меняется характер зависимостей. Если чистый битум сохраняет тенденцию к параллельности кривых при понижении температуры, то при введении 10...30 масс. % АФО образуются прямые пучки, а при введении 50 масс. % АФО – обратный пучок (рисунок 1). Это говорит о том, что их свойства меняются в широких пределах при переходе от жидкого состояния в условиях высоких температур до твердого состояния при низких температурах.

Для выявления аналитической зависимости, связывающей время до разрушения τ , напряжение σ и температуру T , экспериментальные результаты (рисунок 1) перестраивали в координаты $\lg \tau - 1/T$. Последние представляют собой семейства кривых, параллельных или веерообразных прямых (рисунок 2).



a – 0 масс. % АФО; *б* – 10 масс. % АФО; *в* – 50 масс. % АФО

Рисунок 2 – Зависимость долговечности от обратной температуры при различных напряжениях среза для наполненного битума БН 90/10

При этом долговечность битума с 10 масс. % АФО при температурах ниже 0 °С описывается обобщенной формулой Журкова, физически обоснованной и экспериментально подтвержденной Ратнером С.Б.

и

Ярцевым В.П.:

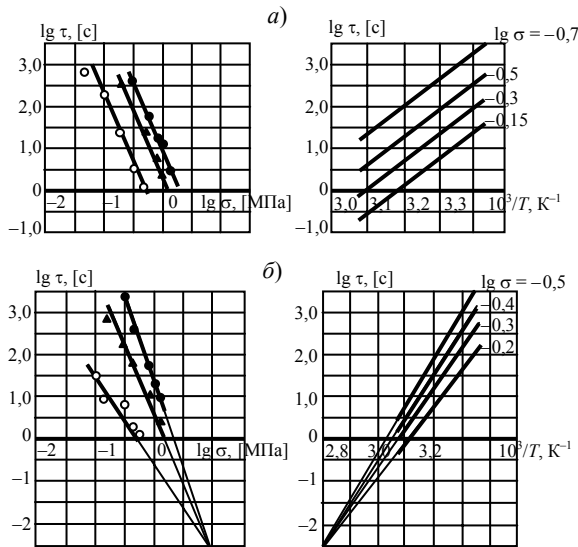
$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_m} \right) \right], \quad (1)$$

где τ_m (период колебания кинетических единиц – атомов, групп атомов, сегментов), U_0 (энергия активации разрушения), γ (структурно-механический фактор), T_m (предельная температура существования твердого тела) – физические константы материала; σ – напряжение; T – температура; R – универсальная газовая постоянная; τ – время до разрушения (долговечность).

Параллельные прямые (рисунок 2, а) описываются формулой, предложенной Бартневым Г.М. для эластомеров:

$$\tau = B \sigma^{-m} \exp \frac{U}{RT}, \quad (2)$$

где B и m – эмпирические коэффициенты.



а – чистый битум; б – с 30 масс. % АФО; ● – 16 °С; ▲ – 30 °С; ◻ – 50 °С

Рисунок 3 – Зависимость долговечности от напряжения (обратной)

При обращении пучка прямых, когда они сходятся в полюс не при предельно высокой, а при низкой температуре, Ярцевым В.П. получена формула:

$$\tau = \tau_m^* \exp \frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{RT} \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right), \quad (3)$$

где τ_m^* , U_0^* , γ^* и T_m^* – эмпирические константы.

Временные зависимости прочности битума и битумных композиций в полулогарифмических координатах нелинейны, в то же время эти данные в логарифмических координатах хорошо ложатся на прямые. Так, зависимости при срезе композиций на основе битума БН 70/30 с АФО и растяжении БН 90/10, перестроенные в координаты $\lg \tau - \lg \sigma$, и $\lg \tau - 1/T$ принимают вид классических прямых пучков или параллельных прямых (рисунок 3).

Для описания этих зависимостей предложены полуэмпирические уравнения:

– для прямого пучка:

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \chi \lg \sigma}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_m} \right) \right], \quad (4)$$

где τ_m , U_0 и T_m – константы, имеющие физический смысл, аналогичный константам уравнения (1); χ – эмпирическая константа, имеющая размерность энергии;

– для параллельных прямых:

$$\tau = \tau_* \exp \frac{U_*}{RT} \exp(-\zeta \lg \sigma), \quad (5)$$

где τ_* , U_* и ζ – эмпирические константы.

Для всех исследованных битумных композиций закономерности разрушения растяжением имеют более сложный характер, чем при разрушении срезом. Это связано с тем, что при растяжении область разрушения неопределенна и материал «течет». При срезе разрушение имеет строго направленный характер при небольших деформациях.

Определены константы для всех исследованных композиций: энергия активации U_0 , U , минимальная долговечность τ_m , предельная температура T_m , структурно-механическая константа γ и эмпирические коэффициенты, позволяющие прогнозировать долговечность, прочность и теплостойкость битумных материалов в широком диапазоне эксплуатационных факторов. Значения констант при различных видах нагружения, в широком диапазоне температур и вариации степени наполнения, а также вид полученных зависимостей представлены в таблицах 1 и 2.

При эксплуатации битумные материалы могут воспринимать длительные сжимающие и контактные нагрузки, приводящие к нарушению целостности покрытия. В связи с этим были изучены закономерности деформирования битумных материалов сжатием и пенетрацией в режиме заданных постоянных напряжений и температур. Пример зависимостей скорости деформирования битумных материалов сжатием при вариации температур представлен на рисунке 4. Аналогичные зависимости получены и при пенетрации.

Таблица 1 – Физические и эмпирические константы битума, наполненного АФО, при разных видах нагружения

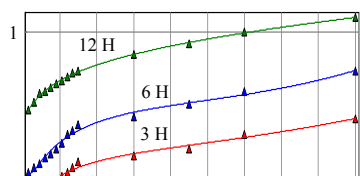
| Марка битума | Вид нагрузки | Количество наполнителя, масс. % | Характер семейства прямых ($\lg \tau - 10^3/T$) | Константы | | | | | |
|--------------|--------------|---------------------------------|---|--------------------------|-------------------------------|----------------|---------------------------|---------|-------------------|
| | | | | U_0, U, U_* , кДж/моль | γ, γ_* , кДж/моль | T_m, T_* , К | τ_m, B_c, τ_* , с | ζ | χ , кДж/моль |
| БН 70/30 | Растяжение | 0 | ↙ | 104 | 127 | 26 8 | $10^{-0,7}$ | – | – |
| | | 10 | /// | 103 | – | – | $10^{-16,5}$ | 45 | – |
| | | 20 | /// ↘ | 112 | – | – | $10^{-16,5}$ | 34 | – |
| | | 30 | ↘ ↙ | 80 | – | – | $10^{-12,5}$ | 50 | – |
| | | 40 | ↘ ↙ ↘ | 141 | – | – | $10^{-20,7}$ | 42 | – |

| | | | | | | | | | | |
|----------|--|----|-----|-----|-----|---------|---------------------|----------|---------|--|
| | Срез* | 50 | | 46 | 555 | 36 9 | 10 ⁴ | – | – | |
| | | 0 | | 108 | – | 30 0 | 10 ^{-2,42} | – | 52 | |
| | | 10 | | 128 | – | 29 1 | 10 ^{-0,51} | – | 10 3 | |
| | | 20 | | 134 | – | 25 8 | 10 ^{-1,9} | – | 96 | |
| | | 30 | | 165 | – | 29 8 | 10 ^{-0,75} | – | 13 8 | |
| | | 40 | | 170 | – | 27 7 | 10 ^{-1,78} | – | 10 5 | |
| | | 50 | | 271 | – | 30 0 | 10 ^{-0,4} | – | 20 1 | |
| БН 90/10 | Растяжение* | 0 | /// | 116 | – | – | 10 ^{-0,3} | 5,8 | – | |
| | | 10 | /// | 130 | – | – | 10 ^{-0,17} | 6,8 4 | – | |
| | | 30 | | 222 | – | 35 7 | 10 ^{-2,5} | – | 24 7 | |
| | | 50 | /// | 111 | – | – | 10 ^{-0,6} | 4,9 | – | |
| | Срез | 0 | /// | 78 | – | – | 10 ^{-1,8} | 4,0 | – | |
| | | 10 | /// | 106 | – | – | 10 ^{-2,0} | 5,5 | – | |
| | | 30 | | 104 | 7,2 | 36 4 | 10 ^{-0,9} | – | – | |
| | | 50 | | 5 | 173 | 27 3 | 10 ⁻⁴ | – | – | |
| | Примечания: * – зависимости, перестроенные в координаты $\lg t - 10^3/T$ от $\lg \sigma$. | | | | | | | | | |

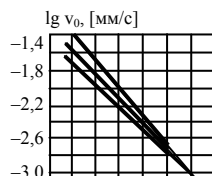
Таблица 2 – Физические и эмпирические константы наполненного битума БН 90/10 в условиях отрицательных температур

| Количество наполнителя, масс. % | Характер семейства прямых $\lg t - 10^3/T$ (от σ) | Константы | | | | |
|--|---|---------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------|--------|
| | | U, U_0, U_* кДж/моль | γ, γ_* кДж/моль | T_m, T_* К | B, τ_m, τ_*, c | m |
| 0 | /// | 155,4 | – | – | 10 ⁻¹⁸ | 1 0 |
| 10 | /// | 332 | 5,2 | 280 | 10 ^{0,9} | – |
| 30 | /// | 90 | 1,4 | 302 | 10 ^{1,3} | – |
| 50 | /// | -100/- 20 | 4 | 222/26 3 | 10 ⁴ | – |
| Примечания: числитель – участок I; знаменатель – участок II. | | | | | | |

а)



б)



Графоаналитическим дифференцированием по программе Grafdiffier для всех композиций построены зависимости в координатах $\lg v_0 - 10^3/T$. Как при сжатии, так и пенетрации они имеют сложный характер. При сжатии чистого битума зависимости имеют линейный характер и образуют прямой пучок (рисунок 4, б), описываемый уравнением:

$$v = v_{m(d)} \exp \left[- \frac{U_{0(d)} - \gamma_{(d)} \sigma}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_{m(d)}} \right) \right], \quad (6)$$

где v – скорость деформирования, мм/с; v_0 – начальная скорость, мм/с; $U_{0(d)}$ – температурно-силовой фактор (максимальная энергия активации перемещения сегмента из одного положения в другое), кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль \times К); T – температура; $\gamma_{(d)}$ – структурно-механическая константа, отражающая неравномерность распределения нагрузки по цепям полимера; $T_{m(d)}$ – предельная температура; σ – напряжение.

При введении АФО в количестве 10...30 масс. % зависимости становятся криволинейными, а при увеличении количества наполнителя до 50 масс. % – принимают вид параллельных прямых (рисунок 4, в), описываемых уравнением:

$$v = v_{m(d)}^* \exp \left[- \frac{U_{0(d)}^*}{RT} \right] \exp(-\beta_d \sigma), \quad (7)$$

где $v_{m(d)}^*$, $U_{0(d)}^*$ – эмпирические константы; β_d – структурно-механический коэффициент.

Такое поведение связано со структурными изменениями, происходящими в битуме при введении наполнителя, а также его повышенной чувствительностью к изменению температуры. Аналогичная картина наблюдается при разрушении битумных композитов растяжением и срезом. При сжатии и пенетрации введение наполнителя замедляет скорость деформирования битума, происходит постепенное увеличение жесткости битума, а при введении 50 масс. % наполнителя материал полностью теряет пластичность.

Для всех зависимостей по программе Konstanta были определены физические и эмпирические кон-

станты уравнений (6) – (7), значения которых представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения физических и эмпирических констант при сжатии и пенетрации битумных материалов

| Количество АФО, масс. % | Вид нагружения | Константы уравнений (6) – (7) | | | | |
|-------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | | $v_{m(д)}, v_{m(д)}^*$, мм/с | $T_{m(д)}$, К | $U_{0(д)}, U_{0(д)}^*$, кДж/моль | $\gamma_{(д)}$, кДж / (моль · Н) | $\beta_{д}$, 1/МПа |
| 0 | Сжатие | $10^{-2,9}$ | 275 | 35 | 3,3 | – |
| 10 | | – | – | 18/80 | – | – |
| 30 | | – | – | 33/80 | – | – |
| 50 | | – | – | 53 | – | 0,01 |
| 0 | Пенетрация | $-/10^{-2,7}$ | – /283 | 13/50 | 12,17 | 0,01 2 |
| 10 | | – | – | 25/80 | – | 0,00 9 |
| 30 | | – | – | 30/133 | – | 0,00 6 |
| 50 | | – | – | 70 | – | 0,00 5 |

Примечания: числитель – участок I (30...50 °С); знаменатель – участок II (16...30 °С).

Из таблицы 3 видно, что при увеличении количества наполнителя константа U_0 и U меняется. Наиболее сильно это проявляется для битума, наполненного 10...30 масс. % АФО при температуре 16...18 °С: энергия активации увеличивается более чем вдвое, что указывает на стерические затруднения деформационных процессов при данных температурах.

Коэффициент $\beta_{д}$ при пенетрации падает с введением и увеличением количества АФО (таблица 3), что указывает на положительные структурные изменения в наполненном битуме.

В четвертой главе выявлено влияние климатических факторов, агрессивной среды и температуры на эксплуатационные свойства битумных материалов, исследованы их адгезионные параметры.

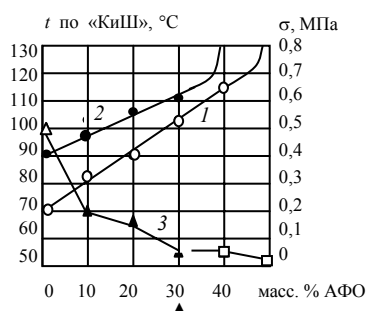
Исследования механических свойств битумных материалов от количества циклов температурных переходов (от +50 до минус 25 °С) показали экстремальный характер их изменения. После 10...30 циклов температурных перепадов наблюдали понижение прочности битума и композиций на его основе, стабилизацию при 30...50 циклах и заметное повышение прочности до исходной после 70 циклов (за исключением битума с 50 масс. % АФО).

Для оценки адгезионной прочности была проведена серия испытаний на отрыв композиций из битума от древесины, металла, кирпича, ЦСП и бетона. Исследования адгезионной прочности показали, что наиболее прочное сцепление битумных композитов происходит с ЦСП, древесиной и бетоном. При введении АФО в количестве до 10...15 масс. % прочность снижается незначительно, а при дальнейшем увеличении она резко падает.

Было установлено, что повышение температуры приводит к снижению прочности композиций (таблица 4), пластичности. Введение АФО приводит к росту температуры размягчения битума.

Проведенные исследования позволили изучить поведение композиций при нагревании: композиций из твердого битума (1), композиций из битума с АФО (2) и битума с АФО и древесиной (3) от количества вводимых АФО.

Таблица 4 – Зависимость температуры размягчения битума (1, 2) и адгезии битума к древесине (3) от количества вводимых АФО.



1 – БН 70/30; 2 – БН 90/10;

▲ – разрыв; ▲ – разрыв с отрывом; □ – отрыв

Рисунок 5 – Зависимость температуры размягчения битума (1, 2) и адгезии битума к древесине (3) от количества вводимых АФО.

что введение АФО приводит к температуры размягчения битумов вязкость, повышает ИП и t_{xp} т.е. увеличивает интервал и увеличение количества АФО коэффициента теплопроводности. дилатометрические испытания по характер поведения битумных композиций определены температуры перехода состояния в пластическое. Характеристики битумов, наполнен-

| Марка битума | Количество АФО, масс. % | T , (по КиШ), °С | Пенетрация $\times 0,1$ мм | <i>ИП</i> | t_{xp} , °С |
|--------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|-----------|---------------|
| БН 90/10 | 0 | 90 | 10 | 2,1 | -34,7 |
| | 10 | 103 | 12 | 3,8 | -59,6 |
| | 30 | 106 | 8,7 | 3,6 | -61,2 |
| БН 70/30 | 0 | 70 | 30 | 1,6 | -11,2 |
| | 10 | 83 | 31,2 | 3,8 | -39,6 |
| | 30 | 90 | 28,4 | 4,0 | -48 |
| | 40 | 115 | 27,1 | 6,5 | -87 |

Установлено, что введение АФО повышает химическую стойкость битума в агрессивных средах различной природы (серной, азотной, уксусной кислотах и щелочи).

В пятой главе приводится методика прогнозирования работоспособности битумных материалов.

Выполнен расчет основных параметров работоспособности (долговечности, прочности и теплостойкости) исследованных композитов (таблица 5) при заданных значениях эксплуатационных факторов (нагрузки, температуры и времени эксплуатации).

Таблица 5 – Прогнозируемые величины долговечности τ , прочности σ и теплостойкости T битумных мастик

| Параметры работоспособности | | Марка битума | | | | | | | | |
|--|------------|-------------------------|------|------|------|----------|------|------|------|------|
| | | БН 70/30 | | | | БН 90/10 | | | | |
| | | Количество АФО, масс. % | | | | | | | | |
| | | 0 | 10 | 30 | 50 | 0 | 10 | 30 | 50 | |
| Вид нагрузки | Растяжение | τ , годы | 5 | 15,2 | 26 | 50 | 6,5 | 20 | 35 | 58 |
| | | σ , МПа | 0,82 | 0,9 | 1,11 | 1,36 | 0,94 | 1,2 | 1,32 | 1,43 |
| | | T , К | 254 | 262 | 271 | 273 | 272 | 294 | 281 | 306 |
| Срез | | τ , годы | 6,5 | 18 | 28 | 43 | 12 | 24 | 36 | 49 |
| | | σ , МПа | 1,2 | 1,31 | 1,33 | 1,48 | 1,25 | 1,31 | 1,44 | 1,41 |
| | | T , К | 270 | 278 | 303 | 315 | 291 | 301 | 309 | 327 |
| Примечание: рассчитывали при заданных эксплуатационных параметрах: $\tau = 10^8$ с, $\sigma = 0,5$ МПа, $T = 293$ К. | | | | | | | | | | |

Как видно из таблицы 5, введение асбофрикционных отходов положительно сказывается на всем комплексе эксплуатационных свойств битума при разрушении: повышаются долговечность, прочность (предел вынужденной эластичности), теплостойкость. Построены диаграммы, позволяющие прогнозировать их работоспособность в широком диапазоне нагрузок и температур.

Результаты исследования подтвердили возможность использования методики прогнозирования работоспособности органических материалов, основанной на положениях термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования, применительно к битумным композиционным материалам.

Таблица 6 – Себестоимость битумных композиций

| Наименование | Стоимость, р./кг | |
|------------------|------------------|----------|
| | БН 70/30 | БН 90/10 |
| Без добавок | 2,50 | 4,30 |
| + 10 масс. % АФО | 2,32 | 3,94 |

| | | |
|------------------|------|------|
| + 20 масс. % АФО | 2,15 | 3,59 |
| + 30 масс. % АФО | 1,92 | 3,23 |

Проведено технико-экономическое сравнение чистых и наполненных битумов (таблица 6). Расчеты показали, что разработанные составы выгодно отличаются по себестоимости от ненаполненных битумов, а с учетом повышения их долговечности обладают несомненными преимуществами.

Приведены примеры использования разработанных битумных мастик при гидроизоляции фундаментов, герметизации швов железобетонных плит и ремонте кровельного покрытия. Даны рекомендуемые составы битумных композиций в зависимости от назначения (таблица 7).

Таблица 7 – Рекомендуемые составы битумных материалов

| Назначение | Рекомендуемый состав |
|-----------------------|---|
| Приклеивающая мастика | 90 масс. % БН 70/30 + 10 масс. % АФО |
| Гидроизоляция | 90 масс. % БН 90/10 + 10...30 масс. % АФО |
| Герметизация | 70 масс. % БН 90/10 + 30 масс. % АФО |

Выполнен расчет долговечности и теплостойкости используемых битумных материалов с учетом реальных условий эксплуатации. При прогнозировании срока эксплуатации герметизирующей мастики 70 масс. % БН 90/10 + 30 масс. % АФО основным параметром, определяющим долговечность принято считать напряжение при растяжении. Тогда, при известных значениях термофлуктуационных констант материала (таблица 5) находим:

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \chi \lg \sigma \left(1 - \frac{T}{T_m} \right)}{RT} \right] =$$

$$= 10^{-2,5} \exp \left[\frac{222 - 247 \lg 0,5 \left(1 - \frac{293}{357} \right)}{8,4 \cdot 10^{-3} \cdot 293} \right] = 10^{9,05} \text{ с.}$$

Таким образом, при заданных значениях эксплуатационных параметров $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\sigma = 0,5 \text{ МПа}$ (согласно математическому эквиваленту нагрузки – МЭН) гарантированное время работы битума БН 90/10, наполненного 30 масс. % АФО составляет 36 лет.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ:

1 Физически обоснована возможность повышения долговечности и теплостойкости строительных битумов введением утилизируемых техногенных отходов.

2 Исследовано влияние вида и количества наполнителей (отходов производства) на эксплуатационные характеристики строительных битумов при различных нагрузках и вариации температур. Показано, что:

- введение в битум марки БН 90/10 до 50 масс. % асбофрикционных отходов, керамзитовой крошки, древесной стружки и муки увеличивает механическую прочность в 1,2...1,6 раза и долговечность композиций при растяжении и срезе в 4...10 раз;
- при введении наполнителей до 30 масс. % вязкость битума снижается незначительно;
- введение асбофрикционных отходов не влияет на водопоглощение битума, остальные добавки дают ее повышение до 10 %;
- асбофрикционные отходы и керамзитовая крошка не влияют на огнестойкость битума, древесные отходы ее снижают.

На основании проведенных исследований по всему комплексу показателей для дальнейшей разработки в качестве наполнителя выбраны асбофрикционные отходы.

3 С позиции кинетической (термофлуктуационной) концепции исследованы закономерности разрушения и деформирования строительных битумов и композитов на их основе в широком диапазоне заданных постоянных напряжений и температур. Установлен характер разрушения битумных композиций при вариации температур от минус 10 до + 50 °С. Выявлены аналитические зависимости, связывающие время эксплуатации, напряжение и температуру.

4 Показано, что введение и увеличение количества АФО в битумных мастиках приводит к изменению вида зависимостей долговечности от температуры («прямой пучок» – параллельные прямые – «обратный пучок»). Для описания процессов разрушения при растяжении композиций на основе битумов БН 90/10 с АФО и срезе БН 70/30 с АФО предложены модифицированные уравнения вида Журкова С.Н. и Бартенева Г.М.

5 Для всех исследованных материалов получены величины физических и эмпирических констант, входящих в уравнения долговечности. По их поведению дана трактовка механизма разрушения и деформирования строительных битумов при введении АФО.

6 Изучено влияние вида нагружения (растяжение, срез, сжатие и пенетрация) на закономерности разрушения и деформирования битумных композитов. Установлены различные механизмы разрушения при растяжении и срезе и деформировании сжатием и пенетрацией, что отражается на величинах констант, определяющих долговечность и теплостойкость.

7 Показано, что введение АФО уменьшает коэффициент термического расширения битума на 30 %, увеличивает его теплопроводность на 50...80 %, увеличивает его стойкость к агрессивным средам и действию попеременного замораживания-оттаивания. АФО повышают температуру размягчения битума по КиШ и дилатометрии на 12...45 °С.

8 Исследования адгезионной прочности показали, что наиболее прочное сцепление битумных композитов происходит с ЦСП, древесиной и бетоном. При введении АФО в количестве до 10...15 масс. % адгезионная прочность снижается несущественно, а при дальнейшем увеличении она падает.

9 Получены аналитические зависимости, позволяющие прогнозировать долговечность и теплостойкость разработанных битумных композитов в широком диапазоне основных эксплуатационных параметров. Даны рекомендации по применению разработанных битумных мастик для герметизации и гидроизоляции строительных конструкций, устройстве и ремонте кровли.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1 *Ярцев В.П.* Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битума / В.П. Ярцев, Е.В. Гурова // Строительные материалы. М., 2003. № 7. С. 46 – 47. Лично автором выполнено 1 с.

2 *Ярцев В.П.* Композиционные строительные материалы с использованием утилизируемых асбофрикционных отходов / В.П. Ярцев, Е.В. Гурова // Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов на пороге XXI века: Сб. докл. Междун. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. Ч. 2. С. 499 – 503. Лично автором выполнено 2 с.

3 *Гурова Е.В.* Влияние добавок асбофрикционных отходов на теплофизические характеристики битума / Е.В. Гурова, В.П. Ярцев // Теплофизические измерения в начале XXI века: IV Междунар. теплофизическая школа: Тез. докл. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2001. Ч. 1. С. 84 – 85. Лично автором выполнено 1 с.

4 *Ярцев В.П.* Композиты на основе битума с использованием утилизируемых асбофрикционных отходов / В.П. Ярцев, Е.В. Гурова // VI науч. конф.: Матер. конф. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. С. 208 – 209. Лично автором выполнено 1 с.

5 *Ярцев В.П.* Закономерности разрушения композитов на основе битума при срезе / В.П. Ярцев, Е.В. Гурова // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов, 2001. Вып. 10. С. 36 – 39. Лично автором выполнено 2 с.

6 *Ярцев В.П.* Механические и теплофизические свойства битумных материалов с использованием утилизируемых асбофрикционных отходов / В.П. Ярцев, Е.В. Гурова // Современные проблемы строительного материаловедения: Матер. VII академ. чтений РААСН. Белгород.: Изд-во Гос. техн. акад. строит. матер., 2001. Ч. 1. С. 646 – 649. Лично автором выполнено 2 с.

7 *Гурова Е.В.* Теплофизические свойства наполненного битума / Е.В. Гурова, В.П. Ярцев, В.А. Ру-

син // X Росс. конф. по теплофизическим свойствам веществ. Казань, 2002. С. 136 – 137. Лично автором выполнено 1 с.

8 *Гурова Е.В.* Определение долговечности композиционного кровельного материала на основе битума / Е.В. Гурова, В.П. Ярцев, М.В. Горюшинская // Эффективные строительные конструкции. Теория и практика: Сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2002. С. 154 – 158. Лично автором выполнено 2 с.

9 *Гурова Е.В.* Особенности разрушения композитов на основе строительных битумов при растяжении и срезе / Е.В. Гурова // VII науч. конф.: Пленар. докл. и тез. стендовых докл. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. Ч. 1. С. 71 – 72.

10 *Гурова Е.В.* Долговечность композиций на основе битума марки БН-90/10 / Е.В. Гурова, В.П. Ярцев // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2002. С. 106 – 109. Лично автором выполнено 2 с.

11 *Гурова Е.В.* Влияние концентрации наполнителя на теплофизические характеристики битума / Е.В. Гурова, В.П. Ярцев, В.И. Ляшков // Проблемы строительства, инженерного обеспечения и экологии городов: Сб. матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2002. С. 120 – 123. Лично автором выполнено 1 с.

12 *Ярцев В.П.* Долговечность композиций на основе битума БН 90/10 и отходов производства местных предприятий / В.П. Ярцев, А.О. Грушо-Новицкая, Е.В. Гурова // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: Сб. тр. V Междунар. конф. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. С. 595 – 598. Лично автором выполнено 1 с.

13 *Ярцев В.П.* Композиционный материал на основе битума и отходов завода резинотехнических изделий / В.П. Ярцев, Е.В. Гурова // Проблемы и пути создания композиционных материалов и технологий из вторичных ресурсов / Под общ. ред. С. И. Павленко. Новокузнецк: СибГИУ, 2003. С. 251 – 259. Лично автором выполнено 4 с.

14 *Грушо-Новицкая А.О.* Влияние агрессивных сред на прочностные характеристики композиций на основе битума / А.О. Грушо-Новицкая, Е.В. Гурова // VIII науч. конф.: Пленар. докл. и тез. стенд. докл. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. Ч. 1. С. 96 – 97. Лично автором выполнено 0,5 с.

15 *Гурова Е.В.* Влияние агрессивных сред на прочностные характеристика композиций на основе битума / Е.В. Гурова, А.О. Грушо-Новицкая, В.П. Ярцев // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. Вып. 14. С. 36 – 38. Лично автором выполнено 1 с.

16 *Ярцев В.П.* О механизме разрушения битумных композитов / В.П. Ярцев, Е.В. Гурова // Современные строительные материалы и ресурсосберегающие технологии: Тр. НГАСУ. Новосибирск, 2003. Т. 6. № 2(23), С. 198 – 202. Лично автором выполнено 3 с.

17 *Гурова Е.В.* Композиционные строительные материалы с использованием утилизируемых асбофрикционных отходов / Е.В. Гурова // VIII науч. конф.: Пленар. докл. и тез. стенд. докл. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. Ч. 1. С. 97 – 98.

18 *Гурова Е.В.* Закономерности разрушения срезом битумных композиций при отрицательных температурах / Е.В. Гурова, В.П. Ярцев // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2003. С. 51 – 54. Лично автором выполнено 2 с.

19 *Гурова Е.В.* Теплотехнические и механические испытания битумных материалов: Метод. указ. к лаб. раб. / Е.В. Гурова, В.П. Ярцев. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 24 с. Лично автором выполнено 12 с.

20 *Гурова Е.В.* Свойства композитов на основе строительных битумов и производственных отходов / Е.В. Гурова // IX научная конференция: Пленар. докл. и кр. тез. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. С. 211.

21 *Гурова Е.В.* О механической прочности и долговечности композитных материалов на основе битума / Е.В. Гурова, А.О. Грушо-Новицкая, В.П. Ярцев // Композиционные строительные материалы.

Теория и практика: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2004. С. 71 – 74. Лично автором выполнено 2 с.