

В. П. ЯРЦЕВ, А. В. ЕРОФЕЕВ

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ



Тамбов

◆ Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ» ◆

2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

В. П. ЯРЦЕВ, А. В. ЕРОФЕЕВ

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИТОВ**

Утверждено Учёным советом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальностям 270102, 270105, 270205



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2014

УДК 691(075.8)
ББК Н37я73
Я79

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры
«Строительные материалы» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
Б. А. Бондарев

Кандидат педагогических наук, доцент кафедры
«Городское строительство и автомобильные дороги»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
Е. В. Аленичева

Я79 **Ярцев, В. П.**

Битумные композиты : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям 270102, 270105, 270205 / В. П. Ярцев, А. В. Ерофеев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 80 с. – 50 экз. – ISBN 978-5-8265-1255-5.

Представлена информация о битумах, их классификации, составе, строении, свойствах и применении. Рассмотрены способы улучшения свойств битума, а также способы прогнозирования долговечности битумных материалов, также представлена информация о свойствах асфальтобетона, рассмотрены требования к нему.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 270102, 270105, 270205.

УДК 691(075.8)
ББК Н37я73

ISBN 978-5-8265-1255-5 © Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2014

ВВЕДЕНИЕ

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 надёжность и долговечность зданий и сооружений. Нефтяной битум является самым распространённым 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 кровли и гидроизоляции. Одним из путей решения данной проблемы является создание битумных композиционных материалов.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ, СОСТАВ И СТРОЕНИЕ БИТУМОВ

Битумы относятся к наиболее распространённым органическим вязущим веществам и представляют собой сложную смесь из многочисленных и разнообразных по химическому строению жидких и твёрдых углеродов и их производных, богатых кислородом, не растворяемых в воде, но растворяемых в сероуглероде, хлороформе и других органических растворителях.

В зависимости от исходного сырья различают природные и искусственные нефтяные битумы.

Природный битум представляет собой органическое вещество темно-коричневого или чёрного цвета, которое при нагревании размягчается и переходит в жидкое состояние, а при охлаждении затвердевает.

Нефтяные (искусственные) битумы представляют собой органическое вязущее, получаемое путём переработки нефтяного сырья при выделении из него газов, бензина, керосина, дизельного топлива и др. Основным сырьём для получения нефтяных битумов является гудрон, который представляет собой остаток после отгонки из мазута нефтяных фракций. В зависимости от технологии производства различают нефтяные битумы: остаточные, окислённые, крекинговые.

В чистом виде природный битум встречается довольно редко, чаще всего встречаются пропитанные битумом горные породы (известняки, доломиты, песчаники). Битумные доломитовые и известняковые породы без извлечения битума используются в виде тонкого порошка для получения асфальтовой мастики и асфальтового бетона.

Природный битум образуется в результате медленного удаления из нефти лёгких и средних фракций, а также под влиянием процессов полимеризации и окисления. Природные битумы отличаются высокой атмосферостойкостью и хорошим прилипанием к поверхности каменных материалов.

Остаточные битумы получают из гудрона путём дальнейшего глубокого отбора из него масел. Гудрон является основным сырьём для получения нефтяных битумов и представляет собой остаток после отгонки из мазута масляных фракций. При нормальной температуре остаточные битумы представляют собой твёрдые или полутвёрдые продукты относительно малой вязкости.

Окислённые битумы получают путём окисления гудрона в специальных аппаратах (продувка воздухом). В процессе производства окислённых битумов водород, содержащийся в остатках, реагирует с кислородом воздуха, образуя водяные пары. Происходит потеря водорода, которая сопровождается уплотнением нефтяных остатков ввиду их полимеризации и сгущения.

Крекинговые битумы получают путём переработки остатков, образующихся при крекинге (разложении при высокой температуре) нефти и нефтяных масел в целях получения большого выхода бензина.

По консистенции (при температуре 18 °С) битумы могут быть:

- твёрдыми, обладающими упругими, а иногда хрупкими свойствами;
- полутвёрдыми, обладающими вязкопластичными свойствами;
- жидкими, обладающими легкотекучими свойствами.

Твёрдые и полутвёрдые битумы транспортируют в железнодорожных цистернах, оборудованных подогревательными устройствами, или в бумажной таре; жидкие битумы – в нефтяных и мазутных цистернах. Хранят битумы в специальных хранилищах.

Химический состав битумов весьма сложен. Так, в них могут находиться смеси углеводородов метанового и нефтяного рядов и их кислородные, сернистые и азотные производные.

Элементарный состав битумов колеблется в пределах: углерод – 70...80%, водород – 10...15%, сера – 2...9%, кислород – 1...5%, азот – 0...2%. Эти элементы находятся в битуме в виде углеводородов и их соединений с серой, кислородом и азотом.

Твёрдая часть битума – это высокомолекулярные углеводороды и их производные с молекулярной массой 1000...5000, плотностью более 1 г/см³, объединённые общим названием «асфальтены». В асфальтенах содержатся карбены, растворимые только в ССl₄ и карбоиды, не растворимые в маслах и летучих растворителях. Асфальтены – твёрдые, хрупкие и неплавкие частицы чёрного цвета с характерным блеском, обладающие сильной окрашивающей способностью. Они являются продуктом полимеризации, конденсации и дегидрогенизации ароматических нефтяных углеводородов, в частности, входящих в состав смол. **Асфальтены являются наиболее уплотнённой частью битумов и придают им твёрдость и хрупкость.**

Смоли – это аморфные вещества темно-коричневого цвета с молекулярной массой 500...1000, плотностью около 1 г/см³. Плотность смол зависит от содержания в них водорода, углерода, кислорода и серы. Чем больше углерода по отношению к водороду, тем плотность смол выше. Обычно она колеблется от 1,00 до 1,08 г/см³, содержание серы и кислорода доходит до 10%. **Содержание смол в битуме повышает его вязкость, твёрдость и эластичность.**

Масла – жидкая при нормальной температуре часть битумов, состоящая из различных углеводородов, с молекулярной массой 100...500, плотностью менее 1 г/см³. В различных битумах они содержат различные количества ароматических, нефтяных и метановых углеводородов. **Масла понижают твёрдость и увеличивают текучесть битумов.**

Кроме масел, смол и асфальтенов, в битуме содержатся в небольшом количестве более сложные вещества – карбены, карбоиды, асфальтогеновые кислоты и их ангидриды, а также парафины. Карбены и карбоиды по внешнему виду напоминают асфальтены, так как являются продуктами их дальнейшей полимеризации и конденсации. Асфальтогеновые кислоты – густая коричневая смолистая жидкость с плотностью больше единицы, являются поверхностно-активными веществами. Парафины – растворённые

1.1. Средний фракционный состав битумов

Фракция, %	Марка битума		
	Строительные	Кровельные	Дорожные
Масла	30...70	40...60	50...70
Смолы	20...50	20...55	20...40
Асфальтены	15...35	2...25	10...20

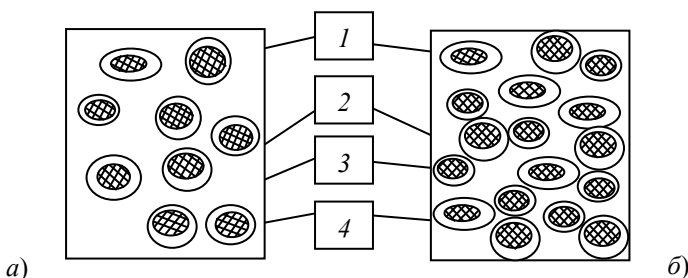


Рис. 1.1. Схемы структуры битума:

а – жидкого; *б* – твердого; 1 – мицелла; 2 – раствор смол в маслах; 3 – асфальтены (ядро мицеллы 18...20 мкм); 4 – смолы (оболочка мицеллы)

в маслах твёрдые предельные углеводороды. Выкристаллизовываясь в битумах при низких температурах, они придают им хрупкость.

Битум по своему строению представляет коллоидную систему, в которой диспергированы асфальтены, а дисперсионной средой являются смолы и масла. Асфальтены битума, диспергированные в виде частиц размером 18...20 мкм, являются ядрами, каждое из которых окружено оболочкой с убывающей плотностью – от тяжёлых смол к маслам. Примерный фракционный состав битумов, используемых в строительстве, представлен в табл. 1.1.

Групповые углеводороды входят в состав битумов в различных соотношениях и образуют сложную дисперсную систему, определяют их структуру и свойства (рис. 1.1).

Битумы, применяемые в строительстве, по агрегатному состоянию делят на твёрдые и жидкие. Однако некоторые из них занимают промежуточное положение – это полужидкие и полутвёрдые битумы. Следует отметить, что нет единой физико-химической характеристики, позволяющей относить битумы к той или иной группе. Если в дисперсной системе имеется избыток дисперсной среды, то комплексные частицы – мицеллы не контактируют между собой, свободно перемещаясь. Эта структура характерна для жидких битумов при нормальной температуре и для вязких битумов при повышенных температурах (рис. 1.1, *а*). При большом количестве мицелл они контактируют между собой, образуя мицеллярную пространственную сетку. Такая структура характеризуется высокой вязкостью и твёрдостью при высокой температуре (рис. 1.1, *б*).

2. СВОЙСТВА БИТУМОВ

Свойства битумов как дисперсной системы определяются соотношением входящих в него составных частей: масел, смол и асфальтенов. Повышение содержания асфальтенов и смол влечёт за собой возрастание твёрдости, температуры размягчения и хрупкости битума. Наоборот, масла, частично растворяющие смолы, делают битум мягким и легкоплавким. Снижение молекулярной массы масел и смол также повышает пластичность битума.

Парафин, содержащийся в нефтяных битумах, ухудшает их свойства, повышает хрупкость при пониженных температурах. Поэтому стремятся к тому, чтобы содержание парафина в битуме не превышало 5%.

К основным показателям, характеризующим свойства битумов, можно отнести пенетрацию, дуктильность, температуру хрупкости, адгезию, поверхностное натяжение на границе раздела фаз, когезию, тепловые, оптические и диэлектрические свойства. К числу сопоставимых показателей, кроме того, можно отнести потерю массы при нагревании и изменение пенетрации после него, растворимость в органических растворителях, зольность, температуру вспышки, плотность, реологические свойства.

2.1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Физические свойства характеризуют состояние материалов, определяют его отношение к физическим воздействиям окружающей среды. К физическим свойствам относят плотность, объёмную массу, водостойкость, а также теплофизические, электрические, магнитные, оптические и поверхностные свойства. Магнитные и оптические свойства позволяют судить о строении молекул, входящих в состав материала, а диэлектрические – о его структуре. Поверхностные свойства определяют адгезионные характеристики и водоустойчивость материала. Физические свойства в определённой мере определяют поведение материала под воздействием механических нагрузок.

Для органических веществ, в отличие от минеральных, характерны гидрофобность, атмосферостойкость, растворимость в органических растворителях, повышенная деформативность, способность размягчаться при нагревании вплоть до полного расплавления. Эти свойства обуславливают применение органических вяжущих для производства кровельных, гидроизоляционных и антикоррозийных материалов, а также их широкое распространение в гидротехническом и дорожном строительстве.

Плотность (γ) битумов в зависимости от группового состава колеблется в пределах от 0,8 до 1,3 г/см³. Она является одной из важнейших характеристик битума, так как позволяет судить о его происхождении.

Температурный коэффициент плотности характеризует изменение плотности при изменении температуры на 1 °С. Для всех битумов он почти одинаков и принят равным 0,0006 г/(см³·град).

Теплопроводность характерна для аморфных веществ и составляет 0,5...0,6 Вт/(м·°С).

Коэффициент объёмного теплового расширения при 25 °С находится в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до $8 \cdot 10^{-4}$ °С⁻¹, причём более вязкие битумы имеют больший коэффициент расширения. Коэффициент объёмного расширения при повышении температуры на 1 °С в интервале 60...300 °С для дорожных битумов находится в пределах 0,000033...0,000042.

Устойчивость при нагревании характеризуется потерей массы при нагревании пробы битума при 160 °С в течение 5 ч (не более 1%) и температурой вспышки 230...240 °С (в зависимости от марки).

Удельная теплоёмкость (С) практически одинакова для различных битумов. Она увеличивается с повышением температуры: изменение теплоёмкости битумов различной консистенции на 1 °С равно 0,00032...0,00078 кал/(г·град). Теплоёмкость смесей битумов с минеральными материалами (наполнителями) можно рассчитать по правилу аддитивности. В среднем удельная теплоёмкость битумов составляет при 0 °С – $1,67 \cdot 10^3$, при 100 °С – $1,88 \cdot 10^3$, при 200 °С – $2,09 \cdot 10^3$, при 300 °С – $2,3 \cdot 10^3$ Дж/(см·град).

Коэффициент теплопроводности (λ) для всех битумов практически одинаков и незначительно уменьшается с возрастанием температуры. Так, при 0 °С он равен 1,51...1,69, при 20 °С – 1,45...1,57, при 40 °С – 1,4...1,5 Вт/(м·град).

Температура вспышки битума определяется в открытом тигле по ГОСТ 4333–87 и составляет обычно более 200 °С. По этому показателю можно судить о наличии низкокипящих фракций в сырье и готовом битуме, а также об их взрыво- и пожароопасности в процессе производства и применения битумов.

Водостойкость характеризуется содержанием водорастворимых соединений (в битуме не более 0,2...0,3% по массе).

Коэффициент температуропроводности (α), характеризующий скорость процесса выравнивания температур, прямо пропорционален теплопроводности и обратно пропорционален объёмной удельной теплоёмкости и плотности материала $\alpha = \frac{\lambda}{C\gamma}$. Он составляет $1,0 \cdot 10^{-7}$... $1,5 \cdot 10^{-7}$ м²/с

и мало отличается для битумов из разного сырья.

2.2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Поверхностное натяжение битумов при температуре 20...25 °С составляет 25...35 эрг/см². От содержания поверхностно-активных полярных компонентов в органическом вяжущем зависит смачивающая способность вяжущего и его сцепление с каменными материалами (порошкообразными наполнителями, мелким и крупным заполнителем). Прочные хемосорбционные связи битум образует с наполнителем из известняка, доломита с большим количеством адсорбционных центров в виде катионов Ca²⁺ и Mg²⁺.

Старение – процесс медленного изменения состава и свойств битума, сопровождающийся повышением хрупкости и снижением гидрофобности. Процесс старения ускоряется под действием солнечного света и кислорода воздуха вследствие возрастания количества твёрдых хрупких составляющих за счёт уменьшения содержания смолистых веществ и масел.

Реологические свойства битума зависят от группового состава и строения. Жидкие битумы, имеющие структуру типа золь, ведут себя как жидкости, течение которых подчиняется закону Ньютона. Твёрдые битумы, имеющие структуру типа гель, относятся к вязкоупругим материалам, так как при приложении к ним нагрузки одновременно возникает упругая (обратимая) и пластическая (необратимая) составляющие деформации. Для описания процесса деформирования вязкоупругих тел используют реологическую модель Максвелла и др.

Основными показателями, определяемыми при исследовании реологических свойств битумов, являются вязкость и деформативные характеристики битума (модуль упругости, модуль деформации и др.). Поведение битумов под действием внешних деформирующих сил определяется комплексом механических свойств. К этим свойствам относятся вязкость, упругость, пластичность, хрупкость, усталость (изменение свойств под воздействием нагрузки), ползучесть и прочность.

2.3. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Наиболее важным свойством является химическая стойкость битумов и битумных материалов к действию агрессивных веществ, вызывающих коррозию цементных бетонов, металлов и других строительных материалов. Битумные материалы хорошо сопротивляются действию щелочей (с концентрацией до 45%), фосфорной кислоты (до 85%), а также серной (с концентрацией до 50%), соляной (до 25%) и уксусной (до 10%) кислот. Менее стойки битумы в атмосфере, содержащей окислы азота, а также при действии концентрированных растворов кислот (особенно окисляющих).

Битумы растворяются в большинстве органических растворителей, кроме низкомолекулярных спиртов. Растворители по отношению к асфальто-смолистым веществам можно разделить на три группы. К первой группе относятся растворители с высокой растворяющей способностью (83...90%) и практически с нулевой избирательностью к асфальтенам (ароматические растворители, четырёххлористый углерод и сероуглерод). Вторая группа, как и первая, характеризуется высокой растворяющей способностью, но отличается от неё выраженной избирательностью (хлороформ и трихлорэтилен). Третья большая группа растворителей характеризуется умеренной растворяющей способностью (27...40%) и резко выраженной отрицательной избирательностью. К ним относятся алифатические углеводороды $C_5 - C_8$, низшие алифатические спирты $C_1 - C_5$ и ацетон.

Растворимость битумов в таких органических растворителях, как хлороформ, бензол, сероуглерод и четырёххлористый углерод, характеризуется наличием примесей – минеральных и других твёрдых веществ (например, карбенов и карбоидов). В этих растворителях битумы растворяются более чем на 99%.

Воздействие реагентов на битум зависит от его химического состава, происхождения, способа получения и твёрдости. Чем твёрже битум, тем выше его сопротивляемость к действию химических реагентов. При комнатной температуре битум можно с успехом применять для защиты от кислот и водных растворов неорганических солей. Стойкость битумов к кислотам зависит от их концентрации: они устойчивы к действию разбавленных кислот и вступают в реакцию только с концентрированными. Соляная кислота, даже концентрированная, на битум не действует.

2.4. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Битумы являются термопластичными материалами и их механические свойства изменяются в широких пределах при переходе от жидкого состояния в условиях высоких температур до твёрдого состояния при низких температурах. Под воздействием нагрузок в битумах возникают одновременно обратимые (упругие) и необратимые (пластические) деформации. Поэтому битумы следует рассматривать как тела различной степени пластичности. В связи с тем что развитие обратимых и необратимых деформаций подчиняется разным законам, проявляющимся в различных соотношениях в зависимости от условий деформирования, общая картина поведения битумов может быть весьма сложной. Теория деформирования материалов различной степени пластичности, занимающих промежуточное положение между твёрдыми телами и жидкостями, находится ещё в стадии формирования, встречаются расхождения в термино-

логии, нет общей теории, охватывающей на единой основе весь спектр реологических свойств.

Марку битума определяют твёрдостью, температурой размягчения и растяжимостью.

Твёрдость определяется по глубине проникания в битум иглы пенетрометра (в десятых долях миллиметра). Этот показатель характеризует глубину проникания тела стандартной формы в полужидкие и полутвёрдые продукты при определённом режиме, обуславливающим способность этого тела проникать в продукт, а продукта – оказывать сопротивление этому прониканию.

Температура размягчения определяется с помощью прибора «кольцо и шар», помещаемому в сосуд с водой; она соответствует той температуре нагреваемой воды, при которой металлический шарик под действием собственной массы проходит через кольцо, заполненное испытуемым битумом.

Температура хрупкости – это температура, при которой материал разрушается под действием кратковременно приложенной нагрузки. Температура хрупкости характеризует поведение битума в покрытии: чем она ниже, тем выше качество битума.

Индекс пенетрации характеризует степень коллоидности битума или отклонение его состояния от чисто вязкостного.

По индексу пенетрации битумы делят на три группы.

К первой группе относятся битумы с индексом пенетрации менее – 2, не имеющие дисперсной фазы или содержащие сильно пептизированные асфальтены. Эластичность таких битумов очень мала или практически равна нулю.

Ко второй группе относятся битумы с индексом пенетрации от –2 до +2 (остаточные и малоокислённые).

К третьей группе относятся битумы с индексом пенетрации более +2, имеющие значительную эластичность и резко выраженные коллоидные свойства гелей. Это окисленные битумы с высокой растяжимостью.

Растяжимость характеризуется абсолютным удлинением (см) образца битума («восьмёрки») при температуре 25 °С и определяется на приборе – дукилометр. Этот показатель косвенно характеризует также прилипаемость битума и связан с природой его компонентов.

Адгезия (прилипание) объясняется образованием двойного электрического поля на поверхности раздела плёнки битума и каменного материала. Адгезия битумов зависит от полярности компонентов (асфальтенов и мальтенов) и характеризуется электропроводностью растворов этих веществ в неполярных растворителях. Электропроводность возрастает с повышением молекулярного веса асфальтенов и мальтенов, входящих в состав битума, адгезионные свойства улучшаются, коэффициент водо-

устойчивости повышается и коэффициент теплостойкости битумов понижается.

Марку битума выбирают в зависимости от назначения. По назначению различают битумы строительные, кровельные, дорожные и изоляционные. Основные требования, предъявляемые к этим битумам, приведены в табл. 2.1.

2.1. Физико-механические свойства нефтяных битумов

Марка битума	Температура размягчения, °С, не ниже	Глубина проникания иглы при 25 °С, 10 мм	Растяжимость, см, при 25 °С, не менее	Температура вспышки, °С
Строительные битумы				
БН 50/50	50	41...60	40	220
БН 70/30	70	21...40	3	230
БН 90/10	90	5...20	1	240
Кровельные битумы				
БНК 45/180	40...45	140...220	Не нормируется	240
БНК 90/40	85...95	35...45		240
БНК 90/30	85...95	25...35		240
Изоляционные битумы				
БНИ-IV-3	65...75	30...50	4	250
БНИ-IV	75...85	25...40	3	250
БНИ-V	90...100	20...40	2	240
Дорожные битумы				
БНД-200/300	35	201...300	–	220
БНД-130/200	40	131...200	70	220
БНД-90/130	43	91...130	65	230
БНД-60/90	47	61...90	55	230
БНД-40/60	51	40...60	45	230
БН-200/300	33	201...300	–	220
БН-130/200	38	131...200	80	230
БН-90/130	41	91...130	80	240
БН-60/90	45	60...90	70	240

2.5. СВОЙСТВА БИТУМОВ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

Различают три основных способа производства нефтяных битумов:

1. Концентрирование нефтяных остатков путём перегонки их в вакууме в присутствии водяного пара или инертного газа (при переработке тяжёлых асфальтосмолистых нефтей остаточные битумы получают атмосферной перегонкой).

2. Окисление кислородом воздуха различных нефтяных остатков (мазатов, гудронов, полугудронов, асфальтов деасфальтизации, экстрактов селективной очистки масел, крекинг – остатков или их смесей) при температуре 180...300 °С.

3. Компаундирование (смешение) различных нефтяных остатков с дистиллятами и с окислёнными или остаточными битумами и др.

Существуют сочетания указанных выше способов.

Окислённые битумы могут быть получены с более высокой температурой размягчения (до 204 °С) по сравнению с остаточными битумами (107 °С). Однако их плотность при одинаковой температуре размягчения или пенетрации ниже, чем у остаточных битумов. Окислённые битумы обладают более высокой пенетрацией (меньшей твёрдостью) по сравнению с остаточными.

При одинаковой температуре размягчения из одной и той же нефти окислённые битумы благодаря их большей мягкости обладают лучшей погодостойчивостью, чем остаточные. Погодостойкость окислённых битумов значительно лучше, чем у битумов из кислого гудрона.

Тепло- и морозостойкость битумов, полученных из гудронов, выше, чем у битумов из асфальтов деасфальтизации.

Были исследованы свойства битумов, полученных разными способами из одного и того же сырья – смеси татарских нефтей, перерабатываемых на Московском НПЗ [1]. В результате было установлено следующее:

1. Наилучшей тепло- и морозостойкостью обладают компаундированные битумы, в состав которых входит высокоплавкий компонент с температурой размягчения 65,5 °С, и битумы, получаемые окислением гудрона в колонном аппарате.

2. Битумы, полученные окислением в колонном аппарате и смешением с высокоплавким компонентом, имеющим температуру размягчения 65,5 °С, имеют наивысшие показатели пенетрации при 0 °С и более низкие значения температуры хрупкости.

3. Для компаундированных битумов с утяжелением разжижителя при одном и том же переокислённом битуме или с повышением температуры размягчения переокислённого битума при одном и том же разжижителе температура хрупкости повышается, а пенетрация при 0 °С понижается.

4. Битумы периодического куба, опытно-промышленной установки колонного типа, и остаточные характеризуются высокой растяжимостью при 25 °С. Битумы, приготовленные компаундированием гудрона и перекислённого битума с температурами размягчения соответственно 34 и 95 °С, дают самые низкие значения растяжимости.

5. Лучшим соотношением всех физико-химических показателей обладают компаундированные битумы, полученные смешением перекислённого компонента с температурой размягчения 65,5 °С с гудронами. Концентрация остатков путём глубокого отбора масел не даёт возможности получить битумы с необходимыми упруговязкостными свойствами.

6. Сравнение свойств битумов, окислённых в периодическом кубе и колонном аппарате непрерывного действия, показало, что качество последних выше.

Следует отметить, что качество окислённых битумов из одной и той же нефти, их тепло- и морозостойкость и интервал пластичности выше по сравнению с остаточными битумами и битумами деасфальтизации при одинаковой температуре размягчения. Соответствующим подбором компонентов можно получать высококачественные компаундированные битумы.

3. СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ БИТУМОВ

Для повышения долговечности, а также для улучшения теплофизических, механических и других свойств битума используются различные методы: совершенствование технологии производства битумов, модификация битумов, пластификация битумов, а также их комбинации. В производстве практикуют смешение битумов; окисление расплавленного битума воздухом, окислением в присутствии хлорида железа или окиси фосфора; введение в битум модифицирующих добавок (наполнителей, пластификаторов, структурообразователей, синтетических полимеров и их смесей и др.).

3.1. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА БИТУМОВ ПУТЁМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМОВ

В параграфе 2.5 рассмотрены способы получения нефтяных битумов. Исследования показали, что при различных способах получения битумов их свойства значительно отличаются. Как утверждают Г. И. Горшенина и Н. В. Михайлов [2], улучшения свойств битумов можно достичь, совершенствуя технологии производства битумов.

Битумы, приготовленные в процессе эмульсионного окисления гудрона, обладают, как установлено И. В. Провинтеевым, лучшими физико-механическими свойствами по сравнению с битумами, получаемыми кубовым способом. В целях интенсификации процесса окисления и улучшения физико-механических свойств битума разработан эмульсионно-кавитационный способ получения битумов. Преимущества данного способа выявлены при проведении исследований структурно-механических свойств битумов, окислённых в кубе периодического действия. Исследованиями установлено, что битумы эмульсионно-кавитационного окисления обладают повышенной вязкостью, твёрдостью и прочностью структуры по сравнению с битумами, получаемыми в кубе периодического действия [3].

Горшениной Г. И. и Михайловым Н. В. [2] были также проведены реологические исследования свойств битумов, полученных кубовым, эмульсионным, эмульсионно-кавитационным и кавитационным способами [2, 4]. Результаты исследования влияния различных способов изготовления на структурно-механические свойства показали, что кавитационный способ даёт возможность получения битумов с улучшенными структурно-механическими свойствами, а также они подтвердили закономерность изменения реологических свойств битумов в зависимости от температуры.

Для каждого состояния, в котором находится битум в зависимости от температуры, характерен определённый комплекс структурно-механических свойств битумных материалов.

3.2. МОДИФИКАЦИЯ БИТУМОВ – КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Улучшение свойств битумов путём совершенствования технологии окисления гудронов является необходимым, но недостаточным для обеспечения требований, предъявляемых к битумным материалам. Изучение свойств модифицированных битумов показывает, что качество последних зависит от природы наполнителя и содержания его в битуме [2].

Рабочий интервал эксплуатации битума характеризуется интервалом его пластического состояния – разницей между температурами размягчения и хрупкости и для его увеличения необходимо понизить температуру застывания и повысить температуру размягчения дисперсионной среды [5]. Этого можно достичь следующими способами:

1) смешением битума, содержащего много асфальтенов (переокислённого), с продуктами, содержащими, в свою очередь, много низкомолекулярных ароматных масел с невысокой вязкостью и низкой температурой застывания (гудроны, асфальты деасфальтизации, экстракты селективной очистки масел);

2) окислением расплавленного битума воздухом. При этом молекулы углеводородов «рвутся», к освободившимся химическим связям присоединяются молекулы кислорода. Однако практически всегда получают «лишние» свободные связи, которые и «ловят» на себя озон, становясь центрами разрушения битумов;

3) окислением в присутствии хлорида железа или окиси фосфора. Эти катализаторы образуют комплексы с полярными веществами, сосредоточенными в смолах и асфальтенах. Эти комплексы имитируют асфальтены – плохо растворяются в битумах, создавая коллоидную структуру;

4) введением в битум модифицирующих добавок: наполнителей, пластификаторов, структурообразователей, синтетических полимеров и их смесей и др. [6].

Традиционные типы добавок:

Наполнители в своё время приобрели широкое распространение в битуме благодаря повышению прочности, однако они снижали пластичность и эластичность битумных композиций. Они существенно оказывали влияние на реологические свойства битумов, повышая их вязкость [7].

В настоящее время наиболее распространёнными являются следующие виды наполнителей: известняк, каолин, асбест, тальк, технический углерод П-234, П-324, П-503 и др. Кроме того, в битумное вяжущее могут вводиться антиоксиданты, в частности углеродная сажа для снижения скорости старения покрытия, биоциды для придания стойкости к биологическим повреждениям, а также антипирены для огнестойкости (галогены, фосфорсодержащие соединения в сочетании с триоксидом сурьмы).

Пластификаторы – низкомолекулярные вещества, способные частично или неограниченно совмещаться с битумом, уменьшая при этом вязкость [8]. Они повышают морозостойкость битумов, растяжимость, водостойкость, однако снижают теплостойкость [6] («Стеклоизол», «Стекломаст», «Стеклобит»).

Основными пластификаторами для битума являются масла: зелёное трансформаторное, осевое, антраценовое, веретённое, дизельное и др. [9, 10].

3.3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМОВ

Минеральные отходы в битумо-минеральных композициях

Сцепление битума с минеральными составляющими оказывает определяющее влияние на основные физико-механические характеристики органо-минеральных композитов. Адгезионное взаимодействие наполнителя и вяжущего в первую очередь определяет уровень свойств композиционных материалов и их сохранение при эксплуатации [11, 12].

Возможностью улучшения битумо-минеральных композиций за счёт низкомолекулярных или гидратированных наполнителей занимаются многие учёные. Печеный Б. Г. проанализировал возможность использования в качестве наполнителя асфальтобетона отходы керамзитового, содового и серного производства [13]. При производстве керамзита в качестве отхода образуется керамзитовая пыль с фракциями размером до 1,8 мм. При изучении зависимости свойств битумо-минеральных композиций от размера зёрен пористого наполнителя было установлено, что вследствие проявления масштабного эффекта композиции на мелкозернистом керамзите имеют более высокие показатели прочности, чем на крупнозернистом. На мелкозернистом керамзите также выше и показатели водостойкости композиций (рис. 3.1).

Температура растрескивания композиций, содержащих мелкозернистый керамзит, в незначительной степени (на 2...3 °С) превышает T_p^a композиций, содержащих крупнозернистый керамзит. В связи с этим применение керамзитовой пыли является вполне обоснованным. Причём как по трещиностойкости, так и по прочностным показателям и водостойкости соотношение пористого и плотного минеральных наполнителей 1:1 по объёму является оптимальным (рис. 3.1, б).

При производстве кальцинированной соды в качестве отходов образуются твёрдые остатки в количестве сотен тысяч тонн в год. Использование этих отходов является весьма актуальной проблемой содового производства [14]. Многочисленные попытки использования твёрдых остатков, образующихся при производстве кальцинированной соды, в качестве

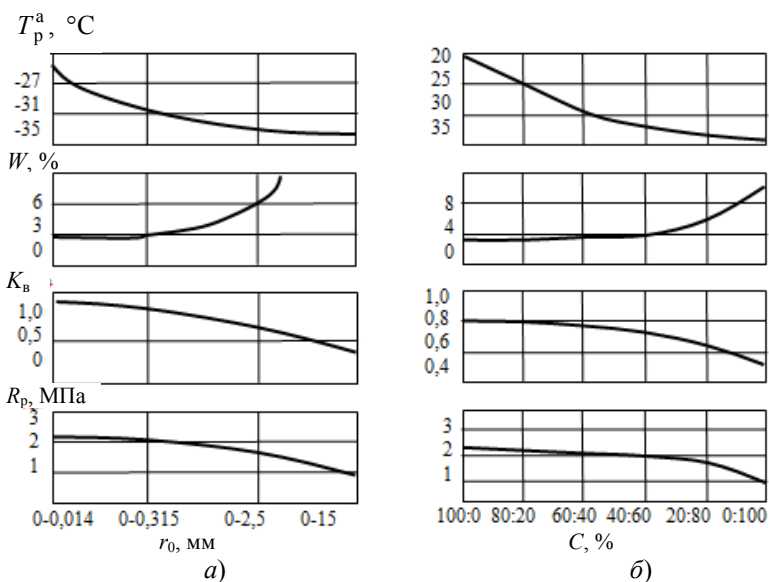


Рис. 3.1. Влияние размера фракций керамзита (а) и соотношения фракций плотного (<0,315 мм) наполнителя и керамзита (б) на температуру растрескивания T_p^a , водонасыщение W , коэффициент водостойкости K_b , прочность при растяжении R_p битумоминеральных композиций

наполнителя в асфальтобетонных смесях не приводили к положительному результату из-за весьма значительного содержания в них водорастворимых соединений – хлоридов Na и Ca. Одним из рациональных путей решения этой проблемы является добавление к твёрдому остатку минеральных компонентов (известняк, золы ТЭЦ и др.) в количестве, обеспечивающем снижение содержания водорастворимых соединений в наполнителе до допустимых пределов.

Испытания асфальтобетонов, приготовленных на известняке с гранулометрией типа Г по ГОСТ 9128–84 с минеральными порошками на основе твёрдого остатка производства кальцинированной соды и его смесей с известняковым порошком и золой ТЭЦ, показали следующее: показатели прочности асфальтобетонов с минеральным порошком из твёрдых остатков достаточно высокие, однако, показатели водостойкости после длительного водонасыщения ниже допустимых пределов; некоторое улучшение качества асфальтобетонов достигается при замене части твёрдого остатка известняковым минеральным порошком или золой ТЭЦ. Например, минеральный порошок из пыли электрофильтров известкового цеха ОЭМК, содержащий значительное количество извести, снижает склонность битума к старению, а, следовательно, способствует повышению

долговечности асфальтобетонных покрытий [15]. Проблема водостойкости с сохранением высоких показателей тепло- и трещиностойкости асфальтобетонов на минеральных порошках, содержащих твёрдые остатки содового производства, была решена при использовании в качестве добавки к твёрдому остатку кварцевого порошка [13, 16].

Для улучшения физико-механических характеристик асфальтобетона весьма эффективно использование серы. Известно, что при температурах приготовления асфальтобетона до 20% серы хорошо диспергируется в битуме. При введении более 20% серы от массы битума избыточная часть серы, не прореагировавшая с битумом, заполняет пустоты между зёрнами заполнителя, образуя самостоятельную структуру в среде вяжущего, и действует по механизму активного, армирующего и кольматирующего наполнителя. Введение серы выполняет двойную роль в структуре асфальтобетона: повышает его прочность и улучшает сцепление вяжущего с поверхностью минерального заполнителя. Сероасфальтобетонные смеси характеризуются благоприятными эксплуатационными свойствами при воздействии пониженных и повышенных температур. Они стойки к воздействию бензина и дизельного топлива, агрессивных сред, попеременному замораживанию и оттаиванию, отличаются пониженной истираемостью, теплостойкостью и сдвигоустойчивостью [17].

При производстве серной кислоты в качестве многотоннажных отходов образуются пиритные (колчеданные) огарки. Фракционный состав пиритных огарков приближен к фракционному составу минеральных порошков для асфальтобетонных смесей. Известны случаи применения пиритных огарков или оксидов железа в составе цветных асфальтобетонных смесей. Для получения трещиностойких асфальтобетонных смесей, содержащих в качестве минерального порошка пиритные огарки, предложено в качестве связующего использовать гудроны с температурой размягчения по КиШ 29...40 °С. При перемешивании таких асфальтобетонных смесей гудрон, благодаря каталитическому действию оксидов железа, содержащихся в пиритных огарках, будет окисляться до битума. Причём на поверхности пиритных огарков будут адсорбироваться образующиеся при окислении гудрона смолисто-асфальтеновые оболочки, что обеспечивает высокие показатели тепло- и водостойкости асфальтобетонов. Предпочтительность использования гудрона с температурой размягчения по КиШ 29...40 °С проиллюстрирована графиками (рис. 3.2) [18].

В Белгородской государственной технологической академии строительных материалов исследовано влияние порошкообразного отхода производства извести Белгородского АО «Стройматериалы» на свойства асфальтобетона. В качестве пылевидных отходов образуется пыль электрофильтров и циклонов в объёме 30...80 т в сутки. Результаты испытаний образцов асфальтобетона свидетельствуют о позитивном влиянии пыли электрофильтров мелкоизвесткового цеха АО «Стройматериалы» на его свойства.

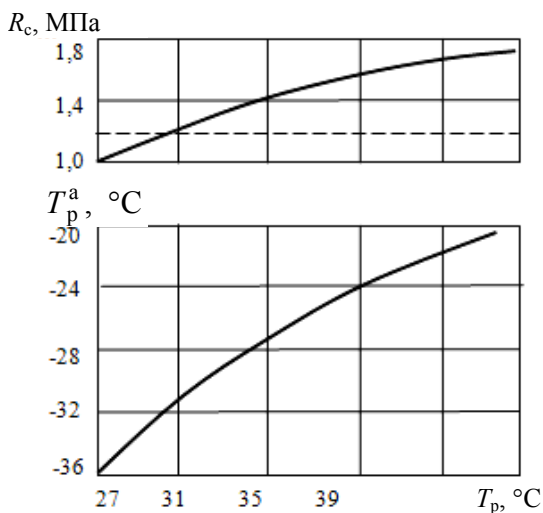


Рис. 3.2. Зависимость прочности на сжатие R_c при 50 °С и температуры растрескивания асфальтобетонов T_p^a на пиритных огарках от температуры размягчения T_p вяжущего

Причём асфальтобетон на исследуемом минеральном порошке не только удовлетворяет требованиям ГОСТ 9128–97, но все его физико-механические характеристики выше, чем на стандартном минеральном порошке. Адгезия битума к известьсодержащему минеральному порошку лучше, по-видимому, из-за химического взаимодействия асфальтогеновых кислот вяжущего с оксидом кальция. Минеральный порошок из пылевидных отходов также положительно влияет на водостойкость и морозостойкость асфальтобетона [19].

Также изучена возможность применения менилитовых сланцев в качестве наполнителя битумных материалов при производстве рубероида [20]. Молотые менилитовые сланцы – это порошок серого цвета без видимых (невооружённым глазом) включений. Введение в битумные материалы 20 и 30 масс. ч. сланцевого наполнителя положительно влияет на показатели температуры размягчения по КиШ и глубину проникания иглы. Образцы рубероида с менилитовым сланцевым наполнителем кровного битума оказались стойкими к старению. Большую стойкость показали образцы, в кровном составе которых содержалось 30 масс. ч. сланцевого наполнителя, меньшую – образцы с 20 масс. ч. этого наполнителя. Причиной высокой стойкости рубероида со сланцевым наполнителем в кровном битуме к действию природных факторов, по-видимому, является наличие в сланце керогена, близкого по составу и свойствам к битуму.

В ряде случаев для ремонта дорожного покрытия используется асфальтобетонная смесь, содержащая цемент [21]. Вопросы создания материалов, сочетающих в себе пластичность битумных и теплостойкость цементных бетонов, рассматривались в работах В. М. Безрука, А. М. Богуславского, В. А. Веренько, Л. Б. Гезенцевя, В. М. Гоглидзе, Э. А. Казарновской, И. А. Рыбьева и т.д. Модифицированные органоминеральные (асфальтогидратные) вяжущие могут служить основой для приготовления ряда композиционных материалов: аналогов асфальтобетона, мастик, составов для укрепления грунтов, гидроизоляционных и битумных материалов. В качестве примера такой асфальтобетонной смеси можно привести композицию на основе жидкого битума МГ 70/130 (ГОСТ 11955–82), минеральной части асфальтобетона типа Б и портландцемента марки 400. Проведённые эксперименты показали (рис. 3.3), что влажная среда способствует увеличению предела прочности на сжатие. При этом изменение процентного содержания цемента от 3 до 7% вызывает увеличение рассматриваемого показателя от 27 до 130%. Морозостойкость асфальтобетона из модифицированной смеси увеличивается, причём с увеличением содержания цемента данный показатель возрастает [21].

Борьба со снежно-ледяными отложениями, образующимися в зимний период на дорожном покрытии, часто заключается в распределении химических реагентов (песко-соляной смеси). Это приводит к засолению почвы, засорению её песком, а также коррозии автомобилей и металлических частей дорожных сооружений. Введение в асфальтобетон солевых добавок в какой-то мере решает эту проблему, так как соль замедляет образование льда на покрытии из такого материала, а образовавшаяся корка имеет низкое сцепление с поверхностью, что даёт возможность применить механический способ борьбы со снежно-ледяными отложениями. В качестве солевых добавок применялись: соль поваренная пищевая, соль поваренная техническая, соль техническая [22]. Испытания проведены для молотых и немолотых солевых добавок. Добавки вводились в количестве 3...7% по массе. По результатам исследований сделаны выводы, что добавки не ухудшают прочностные показатели (рис. 3.3), улучшают адгезию битума к минеральным материалам, но несколько снижают водостойкость асфальтобетона. Все показатели физико-механических свойств асфальтобетонов удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128–97.

Исследования резинобитумных мастик, распространённых в дорожном строительстве, достаточно широко рассмотрены в литературе [23, 24]. Различают непластифицированные и пластифицированные битумные мастики. Как показали исследования [2], введение резины в битум при механическом способе перемешивания приводит к увеличению вязкости и прочности структуры. При этом значение коэффициентов термочувствительности не изменяется. Возрастание прочности структуры БН 70/30 при введении резины сопровождается снижением эластичности. Однако при

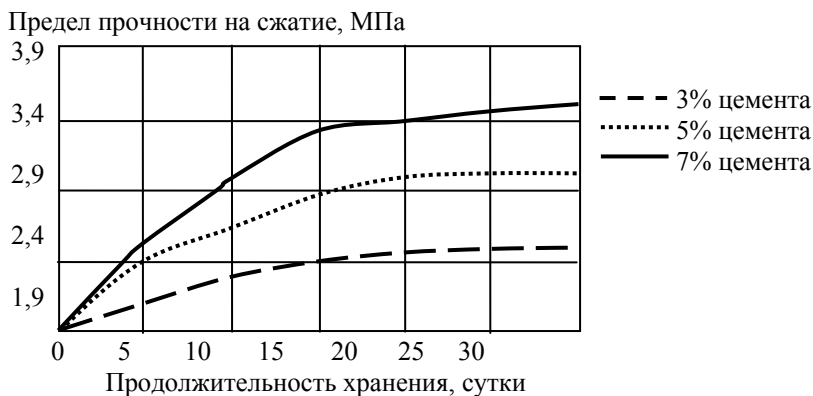


Рис. 3.3. Изменение прочности на сжатие при хранении во влажной среде

объединении БН 70/30 с таким же количеством резины паровым способом эластичность мастики в том же интервале температур возрастает. В интервале эксплуатационных температур паровая мастика имеет бóльшую подвижность, упругость и эластичность, чем механическая. Это объясняется технологией приготовления битумной мастики паровым способом в заводских условиях, которые резко отличается от полевых, где мастики изготавливаются механическим способом. Заводской способ приготовления мастики позволяет ограничить доступ кислорода и уменьшить интенсивность процесса окисления битума [2].

Проводились исследования технологии приготовления и свойств композиционного пенопласта на основе нефтяного битума и вспенивающегося пенополистирола. В экспериментах использовали отечественный вспенивающийся полистирол марки ПСВ (ОСТ 6-05-202-74) и нефтяные битумы БН 70/30, БН 90/10 (ГОСТ 6617-76) [31]. Наиболее оптимальная структура и рецептура композиции соответствует 30...70%-ному содержанию полистирола от массы битума. При объёмной массе 0,17...0,5 т/м³ водопоглощение составило от 3 до 4% по объёму, теплопроводность соответственно 0,460...0,104 Вт/(м·К). Предел прочности при сжатии равен соответственно 0,5...1,6, при растяжении – 0,25...0,60, при изгибе – 0,3...0,6 МПа. Адгезия к бетону в среднем составила 0,25 МПа. Битумопенополистирольная композиция обладает водостойкостью, гидрофобностью, теплоизолирующей способностью. В процессе приготовления и заливки она, увеличиваясь в объеме, становится подвижной и хорошо заполняет и уплотняет швы и стыки поверхностей сложной конфигурации [25].

Одновременная модификация и пластификация битумов

При одновременном введении в битум резины и пластификатора (зелёного масла или полидиена) эластичность мастики увеличивается.

Улучшение реологических свойств мастики при добавлении пластификатора объясняется повышением степени растворения резины в дисперсионной среде системы и образованием вследствие этого структуры повышенной прочности. Исследование битумно-резиновых мастик следующих составов: 1) 88% БН 70/30, 7% резины, 5% зелёного масла; 2) 80% БН 90/10, 7% резины, 13% полидиена показали преимущество мастики, пластифицированной полидиеном. Зелёное масло повышает текучесть мастики и снижает термостойкость. Полидиен, введённый в мастику в том же количестве, что и зелёное масло, снижает вязкость в меньшей степени, при этом термостойкость повышается. Мастика состава БН 90/10 – резина – полидиен, полученная кавитационным способом, имеет наибольший температурный интервал эластично-пластичного и вязкоструктурированного состояния [2].

Для улучшения низкотемпературных свойств битумов при сохранении теплостойкости целесообразно использовать эластомер – бутилкаучук (БК). Следует отметить, что БК с битумом термодинамически несовместим, промышленный БК (молекулярная масса 300...350 тыс.) не вводится в расплавленный битум даже при минимальных (1...2%) количествах. Одним из путей повышения совместимости в таких системах может быть снижение молекулярной массы эластомеров. С этой целью осуществляется деструкция БК на радиационной установке. Улучшение совместимости битумов с БК происходит при введении в композицию дополнительно твёрдых дисперсных добавок (технический углерод, коалин) до 50% к БК.

Результаты проведённых испытаний приведены на рис. 3.4.

Концентрационные кривые свидетельствуют о резком увеличении прочности, относительного удлинения, теплостойкости и морозостойкости при введении эластомера свыше 10 масс. %. На основе результатов данных исследований был разработан компаунд для наливных кровель, представляющий собой 40...50%-ный раствор битумно-каучуковой композиции в керосине или уайт-спирите. Использование его в качестве кровельной мастики рекомендуется в сочетании его с армирующей стеклотканью [26, 27].

В Казанской государственной архитектурно-строительной академии ведутся исследования составов на основе битума и олигомеров серы. Путём проведения реакции термической сополимеризации элементарной серы с отходом дистилляции смеси растительных масел (ОДСРМ) были синтезированы термопластичные композиции, содержащие 20...60% серы по массе. Технология модификации битума заключается в раздельном плавлении исходных компонентов (олигомера серы и битума) и их дальнейшем смешении с битумом. При проведении исследований выяснено, что наиболее оптимальным отношением сополимера к битуму является соотношение 60:40 (табл. 3.1).

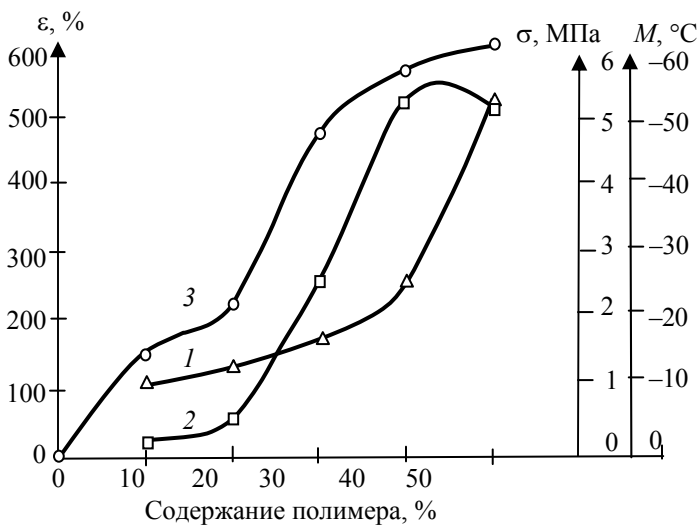


Рис. 3.4. Зависимость прочности при растяжении σ (кривая 1); относительного удлинения ε (кривая 2); морозостойкости M (кривая 3) от содержания полимера (вулканизированного БК)

3.1. Свойства битума, модифицированного олигомерами серы

Показатель	Состав, масс. %			
	БНД 90/130	60% (ОДСРМ-70 + Сера-30) + 40% БНД 90/130	60% (ОДСРМ-60 + Сера-40) + 40% БНД 90/130	60% (ОДСРМ-50 + Сера-50) + 40% БНД 90/130
T_p , °C, по КиШ	45	83	54	52,5
T_{xp} , °C, по Фраасу	-25	-24,5	-25	-29,5
П, мм·0,1, при 25 °C;	128	155	150	127
0 °C	40	40	40	50
Д, см, при 25 °C	45	27	21,6	23,5
W, %	0,05	0,05	0,05	0,05

Примечания: П – пенетрация; Д – дуктильность (растяжимость); W – водопоглощение.

Исследования показали, что совмещение нефтяного битума с олигомерами серы положительно сказывается на его деформативных свойствах [28]. Олигомеры с меньшей молекулярной массой способствуют некоторому понижению температуры хрупкости по Фраасу. Олигомеры с более высокой массой не оказывают отрицательного воздействия на битум, так как имеют температуры хрупкости, сходные с ним. Анализируя свойства олигомеров серы, кинетические зависимости изменения свойств полученных серобитумов, можно предположить, что использование последних в составе битумно-минеральных смесей будет более эффективным в сравнении с чистым битумом.

Пластифицированные битумы

Модификация битумов различными полимерами в настоящее время является одним из наиболее распространённых способов повышения качества строительных битумов, однако и самым дорогостоящим. Введение в битум небольшого количества модификатора (1...10%) приближает его свойства к свойствам полимера, но повышает стоимость примерно в 2 раза.

Наиболее распространёнными полимерными добавками в настоящее время являются атактический полипропилен (АПП), стиролбутадиенстирол (СБС) и этиленпропиленбутен (ЭПБ).

Битумные материалы, модифицированные АПП, существуют и с успехом применяются на мировом рынке свыше 30 лет. В зависимости от количества модификатора, типа используемого битума смеси на базе АПП могут быть высокого и низкого качества. Эти типы смесей имеют очень разную полимерную фазу (рис. 3.5). Неоднородность провоцирует неоднородность свойств, пониженную теплостойкость, худшую гибкость на холоде и преждевременное старение. Материалы на основе АПП обладают хорошей теплостойкостью и устойчивостью к УФ-лучам [29].

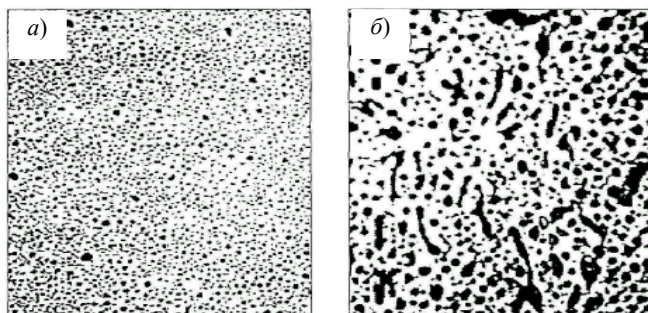


Рис. 3.5. Битумно-полимерная смесь на основе АПП (фото выполнено с помощью флуоресцентного микроскопа):

а – высокого качества с гомогенной структурой;

б – низкого качества с плохой гомогенностью

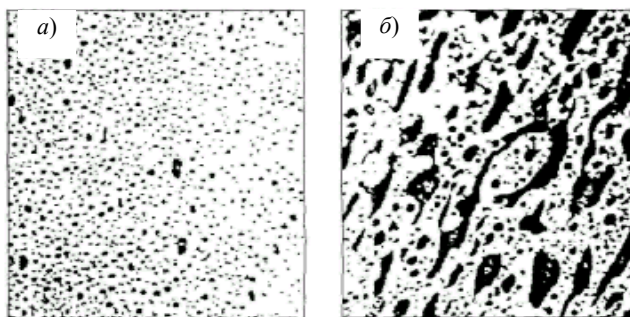


Рис. 3.6. Битумно-полимерная смесь на основе СБС:
а – высокого качества с гомогенной структурой;
б – низкого качества с плохой гомогенностью.

Для материалов на базе стиролбутадиенстирола действуют те же принципы, что и для АПП – материалов, которые обуславливают качество продукта (рис. 3.6). Они обладают хорошей гибкостью при низких температурах – около $-20...-30$ °С. Их не рекомендуется использовать в странах с тропическим климатом, так как при нагревании СБС-материалы слишком деформируемы. В России в настоящее время производятся два вида СБС-модифицированных материалов. В первом случае битумно-полимерное вяжущее содержит 12...14% СБС и 86...88% битума БНК 40/180, во втором – 5...8% СБС и 95...98% битума типа БН 70/30.

В России производством СБС-материалов занимается группа «ТехноНИКОЛЬ». Характеристики материалов, наиболее подходящих для российских климатических условий, даны в табл. 3.2 [30].

3.2. Характеристики СБС-материалов

Характеристики	«Техноэласт»	«Унифлекс»	«Экофлекс»
Тип основы (плотность) – разрывная сила при растяжении, Н, не менее	Полиэстер (170 г/м^2) – 600 Стеклоткань (200 г/м^2) – 600 Стеклохолст (60 г/м^2) – 360		
Гибкость на брусе радиусом 25 мм, °С, не менее	–25	–15	–5
Теплостойкость в течение 2 ч, °С, не выше	+100	+85	+120
Водопоглощение в течение 24 ч, масс. %, не более	1	1	1

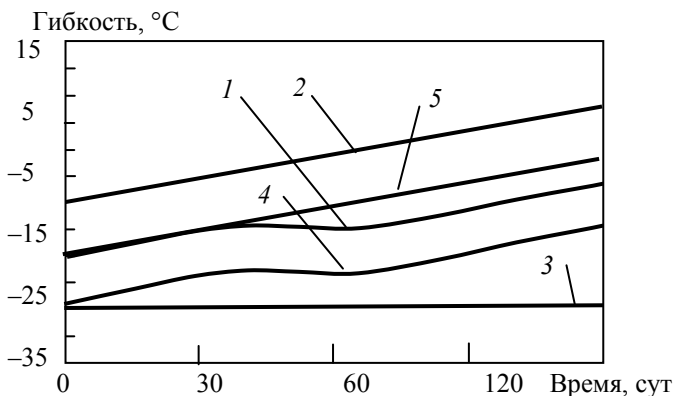


Рис. 3.7. Термическое старение материалов на основе АПП, СБС и ЭПБ:
 1 – мембрана высокого качества на АПП, 2 – мембрана низкого качества на АПП;
 3 – мембрана на ЭПБ; 4 – мембрана высокого качества на СБС;
 5 – мембрана низкого качества на СБС

Материалы на базе этиленпропиленбутена – это материалы последнего поколения на основе битума, модифицированные сополимером α -олефинов: этилена, пропилена и 1-бутена. Их отличает высокое качество и почти полное отсутствие термического старения.

Для наглядного сравнения свойств материалов на основе АПП, СБС и ЭПБ приведены графики термического старения (рис. 3.7).

Инженерным департаментом материалов университета г. Тренто (Италия) была выполнена серия испытаний (термических, прочностных) битумно-полимерных материалов, модифицированных АПП, СБС и ЭПБ, толщиной 4 мм, с основой из нетканого полиэстера.

Проведены исследования изменения модуля упругости материалов на основе АПП, СБС и ЭПБ (рис. 3.8, а). Из графика термогравиметрического анализа (рис. 3.8, б) видно, что термоокислительная деструкция для материала на основе СБС (Uranus) гораздо ниже, чем для остальных материалов. Анализ всех данных подтверждает температурные ограничения использования СБС-материалов.

Интересными представляются исследования влияния полиэтилена низкого давления на свойства битумов. Как известно, битум транспортируется в основном (примерно 65%) в виде болванок массой 50 или 200 – 250 кг, затаренным в крафт – бумажные мешки, однако некоторое количество битума поступает на строительство в полиэтиленовых упаковках. В связи с этим были исследованы свойства битумов БН 90/10 и БНД 90/130, совмещённых с полиэтиленом низкого давления (ПЭНД) в количестве 1...8%. Было установлено, что с увеличением количества полимера

в композиции БН 90/10-ПЭНД снижается пенетрация и растяжимость, повышается температура размягчения, ухудшается растворимость его в бензоле (рис. 3.9).

Анализ реологических свойств в интервале температур 70...200 °С показал, что при введении в битум ПЭНД и увеличении его количества повышается температура перехода битума из неньютоновской жидкости в ньютоновскую вязкость, снижается температура хрупкости. В таблице 3.3 представлены физико-механические характеристики БНД 90/130, модифицированного ПЭНД. На основании полученных результатов можно сказать, что введение 1% ПЭНД по массе не влияет на механические характеристики битума, увеличение добавки ведёт к снижению его качества.

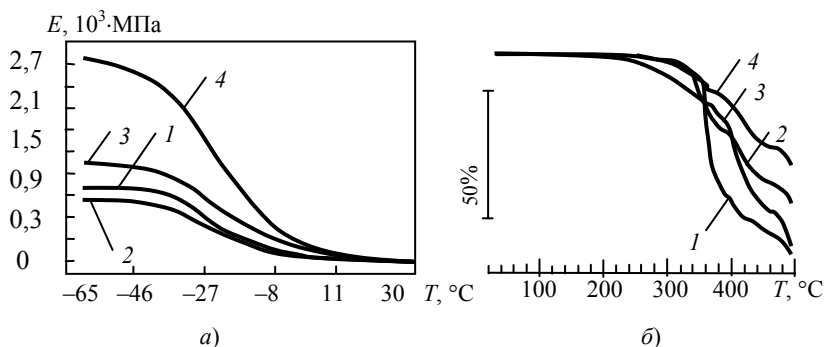


Рис. 3.8. Результаты испытаний битумных материалов на основе АПП, СБС, ЭПБ:

a – модуль упругости; *б* – кривые окислительной деструкции, полученные методом ТГА; 1 – Galaxy (ЭПБ); 2 – Uranus (СБС); 3 – Virgo (АПП); 4 – Sagitta

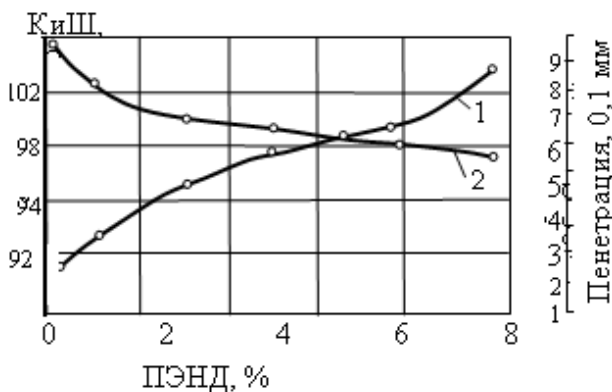


Рис. 3.9. Зависимость свойств марки битума БН 90/10 от количества ПЭНД:
 1 – температура размягчения; 2 – глубина проникания иглы (пенетрация)

3.3. Физико-механические характеристики полимербитумных композиций

Характеристики	Показатели для битума				
	БНД 90/130	БНД 90/130, модифицированного ПЭНД, % по массе			
		1	3	5	8
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	113	105	74	44,5	28
Температура размягчения по КиШ, °С	41	44,6	49	57,4	90
Растяжимость при 25 °С, см	70	60	33,2	11,7	5,8
Температура вспышки, °С	220	220	–	–	–
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	5,5	5,6	–	–	–
Температура хрупкости, °С	–21	–19,5	–15,3	–14,3	–13

Модифицированное битумное вяжущее, обладающее повышенной стойкостью к процессам старения, теплоустойчивостью, более высокими адгезионными свойствами и пластичностью, получено на основе вязкого битума и поверхностно-активной добавки ОЭК – отхода производства, образующегося при варке эфира канифоли. ОЭК представляет собой очень липкую, вязкую пастообразную массу светло-коричневого цвета с условной вязкостью C_5^{80} , равной 4 °С, не растворим в воде, но хорошо растворяется в неполярных растворителях и, в частности, хорошо совмещается с битумом. Введение добавки ОЭК в количестве 0,5...2,5% в битум вызывает снижение вязкости битума, т.е. пластификацию. При этом улучшается растяжимость битумов при 25 и 0 °С, а также понижается температура хрупкости (рис. 3.10).

Стандартные испытания прилипаемости битумов к песку и мрамору показали улучшение адгезии битумов при введении добавки ОЭК к материалам основных и особенно кислых пород. Результаты исследования влияния добавки отхода ОЭК в количестве 0,5...2,5% на свойства асфальтобетона показали, что в результате повышается теплоустойчивость смеси, прочность при сжатии асфальтобетона при 50 °С увеличивается в 1,3...1,5 раза. Высокие значения коэффициента водостойкости свидетельствуют о положительном влиянии ОЭК на коррозионную устойчивость асфальтобетона. Наилучшие результаты имеет асфальтобетон, содержащий 1,5% модифицирующей добавки (по отношению к битуму). Дальнейшее увеличение её количества приводит к падению прочностных показателей [31].

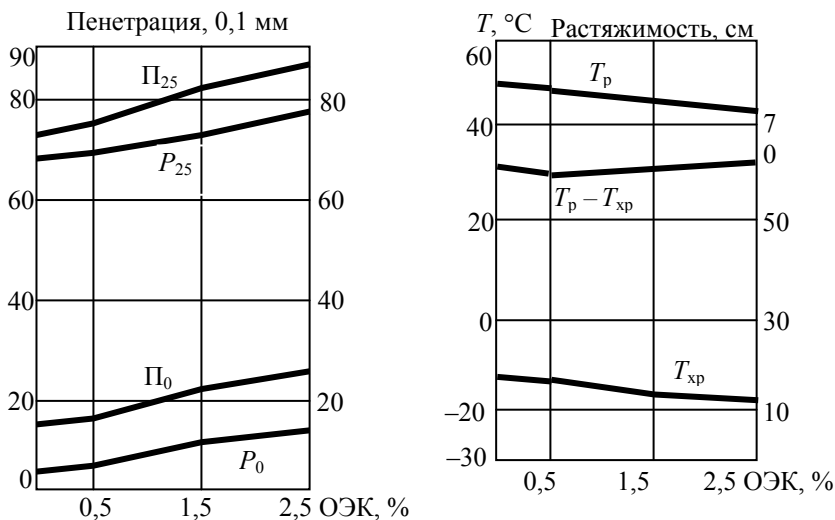


Рис. 3.10. Влияние добавки отхода ОЭЖ на свойства асфальтобетона
 (T_p – температура размягчения; T_{xp} – температура хрупкости)

В качестве вяжущего в асфальтобетонах, защитного покрытия от коррозии металлов, бетонов и др. часто применяют эпоксибитумные композиции, отличающиеся высокой тепло- и трещиностойкостью и устойчивостью к истиранию. Существует ряд составов эпоксибитумных композиций, применяемых для дорожных покрытий [19]. Изучены механические свойства композиций, состоящих из эпоксидной смолы ЭД-16 и отвердителя – полиэтиленполиамина, а также различных нефтяных остатков и битумов. Анализируя состав нефтяных компонентов и прочность их композиций с эпоксидной смолой, можно отметить, что ароматические углеводороды нефтяных компонентов до 62,5% обуславливают прочность эпоксидных композиций.

В целях повышения деформативных свойств и трещиностойкости асфальтобетона используют битумы, улучшенные добавками полимеров и каучуков. В качестве такой добавки можно использовать полимерный модификатор – масляный раствор синтетического высокомолекулярного полибутадиенового каучука (СВБ-М). Указанный модификатор представляет собой раствор полибутадиена в индустриальном масле марок И-2СА, И-3СА, И-5СА по ГОСТ 20799–88 с преимущественным содержанием винильных звеньев (30...80%). Добавка вводилась в нефтяной битум марок БН 60/90, БНД 40/60, БНД 60/90.

Введение добавки СВБ-М значительно улучшает растяжимость вяжущего, особенно при 0 °С, увеличивая её от 3,5 см (исходный битум) до 75 см (при содержании полимерной добавки в количестве 2...3%) (табл. 3.4).

3.4. Физико-механические показатели модифицированного вяжущего при содержании СВБ-М в количестве 0...3%

Содержание СВБ-М, %	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при		Растяжимость, см, при		Температура, °С		Интервал пластичности, °С
	25 °С	0 °С	25 °С	0 °С	размягчения	хрупкости	
0	75	24	57	3,5	49,0	-17,0	66,0
1	79	26	72	30,0	48,0	-20,0	68,0
2	84	36	90	75,0	47,5	-28,0	75,5
3	92	43	84	70,0	46,0	-34,0	80,0

Почти на 30...40% понижается температура хрупкости. Заметно увеличивается интервал пластичности вяжущего – от 66 до 80 °С. При этом глубина проникания иглы при 25 °С и температура размягчения по КиШ изменяются незначительно. Наиболее оптимальным, по данным исследования, следует считать вяжущее, содержащее СВБ-М в количестве 2% (для каждого битума процент добавки подбирается опытным путём). Введение же 3% и более добавки в исследуемый битум разжижает его, переводя при этом в другую марку, что может быть эффективно использовано при поверхностной обработке покрытий.

В Центре по разработке эластомеров Казанского государственного технологического университета было получено полимербитумное связующее с применением каучука СКЭПТ (синтетический каучук этиленпропиленовый тройной) марок СКЭПТ-30 и СКЭПТ-40 производства АО «Нижнекамскнефтехим».

В отличие от уже исследованных и опробованных ПБС с применением дивинилстирольных термоэластопластов, ПБС с применением СКЭПТ вулканизируются серой. Это придаёт ещё большую стабильность композиции и позволяет получить резиноподобные покрытия.

При создании ПБС использовался битум марок БНД 60/90 и БНД 90/130. В качестве растворителей каучука были опробованы промышленное масло ИМ-8а, мазут, отходы производства изопрена (К-336) в различных соотношениях с каучуком. При этом измерялись основные показатели связующих: глубина проникания иглы, температура размягчения, температура хрупкости по Фраасу. Результаты проведённых исследований приведены в табл. 3.5.

При использовании промышленного масла снижается температура хрупкости и несколько повышается температура размягчения. Но применение масла и особенно отходов производства резко повышает глубину

3.5. Свойства битумов, модифицированных СКЭПТ

Состав ПБС	Пенетрация, 0,1 мм, при 25°C,	T, °C, по КиШ	T, °C, по Фраасу
Битум 90/130	117	47	-17
ПБС (масло)	219	50	-36
ПБС (К-336)	343	38	-32
ПБС (мазут)	105	53	-30

проникания иглы в образец, ухудшает адгезию, а при использовании отходов производства изопрена снижает температуру размягчения даже в вулканизированных образцах. Это не происходит, когда в качестве растворителя берётся битумное сырьё (утяжелённый мазут или гудрон).

4. ПРИМЕНЕНИЕ БИТУМОВ

Битумы водо- и газонепроницаемы, хорошо противостоят атмосферной и химической коррозии, поэтому их применяют в качестве антикоррозионных покрытий. На основе битумных вяжущих веществ изготавливают материалы и изделия для защиты металлов от действия кислот и щелочей, кислорода воздуха при температурах 20...60 °С. Противокоррозионным материалом покрывают металлические конструкции, находящиеся в атмосфере, воде и земле, бетонные подземные каналы, в которых смонтированы кислотопроводы, полы в цехе, где возможен разлив серной кислоты, вентиляционные трубы и трубопроводы.

Битумы в производстве кровельных материалов

Битумы широко применяют при производстве кровельного (рубероидного) и водоизоляционного картонов – гидроизоляционных материалов для покрытия крыш, промышленных, гражданских и других сооружений. Технология производства названных строительных материалов примерно одинакова и может быть проиллюстрирована примером получения рубероида: на тряпичный картон, пропитанный мягким битумом, накладывают слой из окисленного битума с минеральным наполнителем. Сборные кровельные покрытия производят в виде кровельного картона из нескольких слоёв. На месте потребления такой картон пропитывают и проклеивают расплавленным битумом. Ткани, пропитанные битумом, применяют в системах шахтной вентиляции и для водонепроницаемых покрытий.

Современные кровельные материалы представляют собой основу (стеклохолст, стеклоткань, полиэфирные полотна), пропитанную битумным материалом (модифицированным АПП, СБС, СКЭПТ и другими полимерами), защищённые сверху минеральной посыпкой (рис. 4.1). К таким материалам относятся: стеклоизол (а также его современные аналоги – стекломаст, линокром, бикрост и др.); «Бикропласт» и «Экофлекс», «Техноэласт» и «Унифлекс» компании «ТехноНИКОЛЬ»; «Изопласт», «Изоэласт»

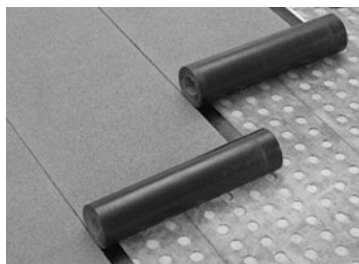


Рис. 4.1. Рулонные битумно-полимерные кровли



Рис. 4.2. Устройство наплавляемой битумно-полимерной кровли

и «Кинепласт» завода «Изофлекс»; «Стеклоизол» и «Рубитэкс» ОАО «РУБИКОН»; «Полифлекс» («Эластокрон») завода «Изотекс»; отечественные «Кровляэласт» и «Биполикрин» производства АО «Кровля»; листы GUTTANIT и «Гуттапрал» швейцарской компании «Гутта»; KATEPAL компании Goodroof и др. (рис. 4.2).

Бумагу с одно- и двусторонним битумным покрытием и многослойную бумагу, склеенную битумом, и иногда – с тканевой прокладкой, используют для упаковки и в строительстве. Бумагу, пропитанную мягкими битумами, применяют в производстве электрокабелей, для водозащитных покрытий и тепловой изоляции промышленных трубопроводов. Битумом пропитывают также асбестовые ткани и стеклянный войлок. Битум в виде эмульсии можно вводить в волокно при формировании бумаги.

Битумы в дорожном строительстве

Значение битума в производстве дорожных покрытий первостепенно. Покрытия с применением битумов обеспечивают прочность, безопасность и в 2 – 2,5 раза дешевле, чем бетонные (рис. 4.3).

Дорожные одежды состоят из основания (которое придаёт покрытию прочность, делает его ровным, а также передаёт давление транспорта на грунт) и дорожного покрытия. Общим для большей части дорожных покрытий является сочетание в них минеральных заполнителей и битума, в которых последний используют в качестве прочной водонепроницаемой связующей среды. Выбор типа покрытия и способа его строительства определяется местными условиями, характером автотранспорта и интенсивностью движения по данной дороге. Применяют следующие способы строительства дорожных покрытий: поверхностную обработку битумом дороги, грунта, основания; пропитку битумом дороги; покрытие дороги битумом, предварительно смешанным с каменным материалом в асфальтосмесителе; смешение битума с каменным материалом на дороге (рис. 4.4).



Рис. 4.3. Битумы дорожные



Рис. 4.4. Применение битумов в дорожном строительстве

Выбор вяжущих материалов зависит от способа строительства дороги, интенсивности движения автотранспорта, климатических условий, наличия местных строительных материалов, дорожных механизмов и других экономических факторов.

Битумы в гидротехнике

Битумы водонепроницаемы и устойчивы к разрушению при низких температурах, нетоксичны и могут безопасно применяться для покрытия хранилищ питьевой воды и облицовки труб водоснабжения. Поэтому для предотвращения просачивания воды в водопроницаемые породы и предохранения берегов и каналов от оползней битумы широко применяют в гидротехнических сооружениях.

Гидроизоляционный материал получают смешением битума с минеральным наполнителем. Покрытия из такого материала гарантируют долговременную защиту от протекания воды в бассейнах, водохранилищах, плотинах, дамбах, склонах побережий рек, морей, каналов, гаваней, портов. Смесь обладает также достаточной прочностью при действии нагрузок и имеет низкую стоимость по сравнению с другими материалами, т.е.

затраты на гидросооружения быстро окупаются. Битумные смеси используют и при строительстве молов и волноломов. При оседании мола покрытие деформируется, но не растрескивается. Впрыскивание в почву специальных битумных эмульсий, содержащих коагулирующие агенты замедленного действия, позволяет создавать влагонепроницаемые участки в требуемом месте и на заданной глубине.

Битумы в качестве противокоррозионных покрытий

Материалы для гидроизоляционных покрытий изготавливают в виде мастик (замазок), растворов и бетонов, гидроизоляционных рулонных и листовых материалов, порошков и лаков. Мастики по способу применения делятся на горячие и холодные. Их применяют как для основного изоляционного слоя, так и в качестве приклеивающего состава при нанесении рулонных (бризола, гидроизола), стекловолоконистых и других материалов, а также в качестве изоляционного и противокоррозионного материала при строительстве магистральных газопроводов, нефтепроводов и трубопроводов для нефтепродуктов.

Другие области применения битумов

К другим областям применения битумов можно отнести: строительство промышленных и гражданских зданий и сооружений; получение заливочных аккумуляторных мастик, электроизоляционных лент и труб, покрытий для изделий радиопромышленности, термопластических формовочных материалов, пластификаторов, кокса, смазок для прокатных станков, специальных покрытий и изделий, коллоидных растворов, применяемых при бурении нефтяных и газовых скважин; брикетирование; защиту от радиоактивных излучений; повышение урожайности; защиту от действия микроорганизмов; защиту древесины от гниения и др.

5. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

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 надёжность и долговечность зданий и сооружений. Нефтяной битум является самым распространённым 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.

Результаты по исследованиям в данной области, проводимым Е. В. Гуровой, представлены в данной главе.

5.1. ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В процессе эксплуатации битумные композиции подвергаются не только длительному воздействию повышенных и пониженных температур, но и многократным залповым воздействиям (при переходе температур через 0 °С). Поэтому были проведены исследования свойств битумных материалов при циклических температурных переходах от +50 до – 25 °С.

Образцы битума марки БН 90/10 и композиции на его основе испытывали на срез после различного количества циклов замораживания и оттаивания. Величины разрушающих напряжений представлены в табл. 5.1. Из таблицы видно, что с повышением количества наполнителя пропорционально увеличиваются напряжения среза для всех исследованных композиций. На рисунке 5.1 показан характер изменения разрушающих напряжений при различном количестве температурных перепадов. Необходимо отметить понижение прочности битума и композиций на его основе после 10...30 циклов температурных перепадов, стабилизацию при 30...50 циклах и заметное повышение прочности при 70 циклах (за исключением битума с 50 масс. % АФО).

5.1. Разрушающие напряжения при циклических испытаниях

АФО, масс. %	Напряжения разрушения битума БН 90/10 при срезе (МПа) при циклах замораживания							
	0	10	20	30	40	50	60	70*
0	1,72	0,47	0,6	0,35	0,38	0,37	0,52	0,59
10	1,86	0,67	0,63	0,44	0,5	0,46	0,68	0,68
30	1,98	0,94	0,97	0,7	0,68	0,7	0,9	1,1
50	1,75	1,16	0,8	0,83	0,93	1,03	1,05	1,07

* – максимальное количество переходов температуры через 0 °С для Тамбовской области.

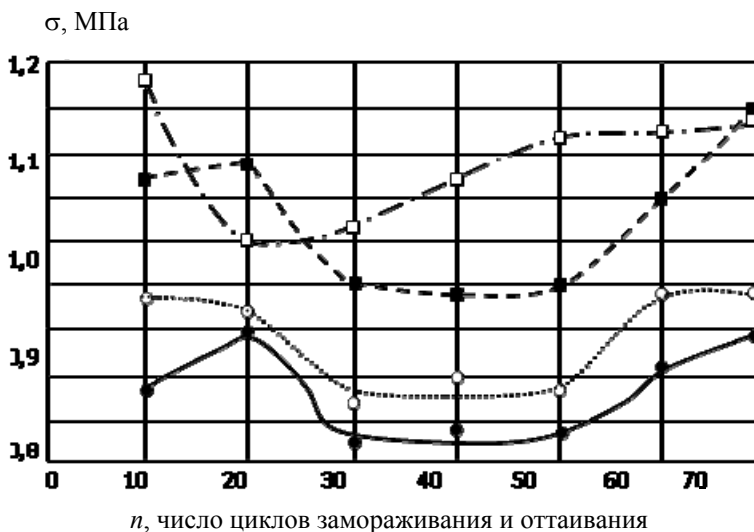


Рис. 5.1. Зависимости напряжений разрушения от числа циклов замораживания

5.2. АДГЕЗИЯ БИТУМА К СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Для оценки адгезионной прочности была проведена серия испытаний на отрыв композиций из битума от древесины, металла, кирпича, ЦСП и бетона. Также были проведены исследования по приклеиванию листовых кровельных материалов битумными композитами к бетону.

Результаты испытаний показали, что с увеличением количества добавок адгезионное взаимодействие битума со всеми исследованными материалами, за исключением кирпича, падает. Адгезия к кирпичу незначительно повышается от 0,52 до 0,85 МПа (рис. 5.2).

Битум, наполненный 50 масс. % АФО, практически не приклеивается к металлу, древесине и бетону.

При испытании на отрыв от древесины чистый битум разрывается по границе соединения (отрыва от древесины не происходит); для битума с 10, 20 и 30 масс. % АФО отрыв совмещается с разрывом; при испытании битума с 40 и 50 масс. % АФО происходит чистый отрыв.

Взаимодействие битумных композитов с цементно-стружечными плитами даёт адгезионную прочность на порядок выше, чем с остальными материалами. Отрыва не происходит вообще, битум разрывается по границе приклеивания.

В целом все композиции, содержащие 10...20 масс. % АФО, дают адгезионную прочность, превышающую нормированную $\geq 0,1$ МПа.

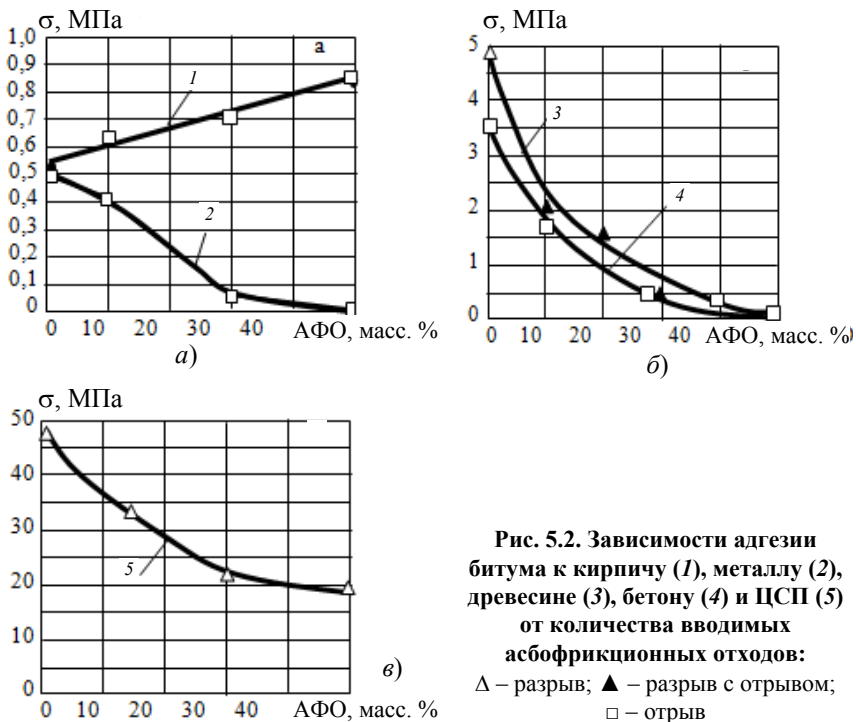


Рис. 5.2. Зависимости адгезии битума к кирпичу (1), металлу (2), древесине (3), бетону (4) и ЦСП (5) от количества вводимых асбофрнкционных отходов:

Δ – разрыв; \blacktriangle – разрыв с отрывом; \square – отрыв

5.3. ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА АФО НА ТЕМПЕРАТУРУ РАЗМЯГЧЕНИЯ БИТУМА

Температура размягчения традиционно считается одной из обязательных характеристик битума, которая определяется на приборе «кольцо и шар» по ГОСТ 11506–83.

При увеличении количества добавок температура размягчения для обеих марок битума растёт линейно (рис. 5.3). Причем введение 40 масс. % в битум БН 90/10 и 50 масс. % АФО в битум БН 70/30 приводит к полной потере его способности к размягчению. Это объясняется перенасыщением битума наполнителем, композиции приобретают свойства твёрдого материала.

По величине пенетрации определяется индекс пенетрации (ИП), характеризующий степень коллоидности битума или отклонение его состояния от чисто вязкостного.

Битум марки БН 70/30 можно отнести к остаточным и малоокислённым битумам, так как его индекс пенетрации входит в интервал $\{-2; +2\}$. БН 90/10 относится к окислённым битумам с высокой растяжимостью, такие битумы ($\text{ИП} > +2$) имеют значительную эластичность и резко выраженные коллоидные свойства гелей.

Поскольку при введении добавки и увеличении её количества индекс пенетрации битумных композиций растёт (табл. 5.2), то можно судить об улучшении их свойств. Величина ИП для композиций достаточно условна, так как она применяется в основном для чистых битумов.

Одним из показателей качества битумов является также интервал пластичности ($T_p - T_{xp}$). Его величину и связь с индексом пенетрации И. М. Руденская и А. В. Руденский [7] выражают формулой

$$T_p - T_{xp} = 7(10 - \text{ИП}),$$

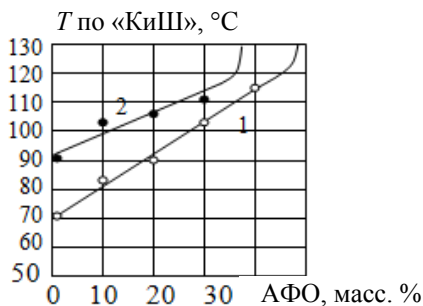


Рис. 5.3. Зависимость температуры размягчения битума от количества вводимых асбофрикционных отходов:

1 – БН 70/30; 2 – БН 90/10

5.2. Характеристики битумов, наполненных АФО

Марка битума	Количество АФО, масс. %	T , (по КиШ), °С	Пенетрация, 0,1 мм	ИП	$T_{\text{хр}}$, °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

Температура хрупкости ($T_{\text{хр}}$) для всех композиций из битума, найденная исходя из этой формулы (табл. 5.2), значительно повышается с введением и увеличением количества добавки. Так как интервал пластичности модифицированных битумов увеличивается, то повышается их стойкость к образованию трещин при низких температурах и устойчивость против сдвига при повышенных температурах.

5.4. ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Битум и битумные композиции в процессе эксплуатации могут подвергаться воздействиям различных агрессивных сред. Ниже исследовано поведение композиций на основе битума марки БН 90/10 и асбофрикционных отходов при воздействии некоторых агрессивных сред.

В качестве химических сред использовали неорганические кислоты: серную (H_2SO_4), азотную (HNO_3); органическую – уксусную; едкий натр (NaOH). Образцы битумных материалов выдерживали в растворах кислот различной концентрации (5...75%) в течение 1 часа, 1 и 7 суток. Испытывали их на прочность при срезе, определяя величины разрушающих напряжений.

По результатам экспериментов построены графики в координатах $\sigma - \tau$, отражающие характер изменения прочности чистого битума и наполненных композиций от времени выдержки в средах различной концентрации.

В первые сутки прочность для всех композиций, подверженных воздействию серной кислоты, незначительно снижается, за исключением чистого битума. А при увеличении времени воздействия до 7 суток прочность для наполненных композиций заметно возрастает, а для чистого битума – снижается.

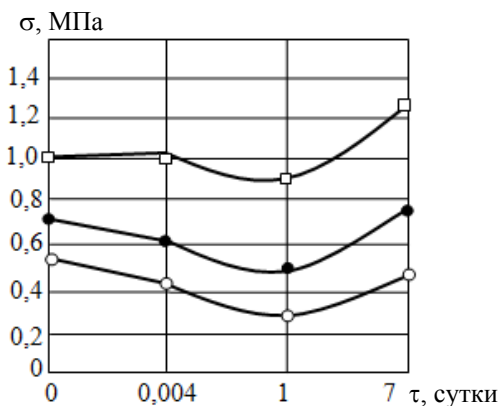


Рис. 5.4. Изменение прочности битумных композиций при действии уксусной кислоты 5% концентрации:
 ○ – чистый битум; ● – 30 масс. % АФО; □ – 50 масс. % АФО

Аналогичный характер изменения прочности наблюдается и при воздействии уксусной кислоты (рис. 5.4). Для всех композиций в первый час воздействия прочность меняется незначительно, через 1 сутки снижается, а затем стабилизируется. Чистый битум восстанавливает свою первоначальную прочность при 10 и 20%-ном содержании уксусной кислоты. Битум, содержащий 30 масс. % АФО, восстанавливает первоначальную прочность при 5%-ном содержании уксусной кислоты, при 10 и 20%-ном повышает её в 1,5...2 раза. Битум с 50 масс. % АФО при всех концентрациях уксусной кислоты повышает прочность примерно в 1,2...1,4 раза.

При воздействии на битумные композиции азотной кислотой характер зависимостей в основном меняется (рис. 5.5). Для большинства композиций наблюдается понижение прочности при увеличении времени воздействия кислоты. Исключение составляет композиция с 50 масс. % АФО, её прочность на 7 сутки возрастает при всех концентрациях кислоты.

Прочность битумных композиций, подверженных воздействию растворов едкого натра в течение одного часа, возрастает (рис. 5.6). Особенно это заметно для композиций с 50 масс. % АФО при воздействии на них 25 и 50%-ными растворами едкого натра. Увеличение времени воздействия растворов едкого натра приводит к противоречивым результатам: чистый битум и битум с 30 масс. % АФО показывают повышение прочности в 25 и 50%-ных растворах и её падение в 75%-ном; прочность битума с 10 масс. % АФО падает при всех концентрациях едкого натра; с 50 масс. % АФО повышается в 25 и 75%-ных растворах и падает в 50%-ном. Такой разброс данных в случае с едким натром можно объяснить тем, что с те-

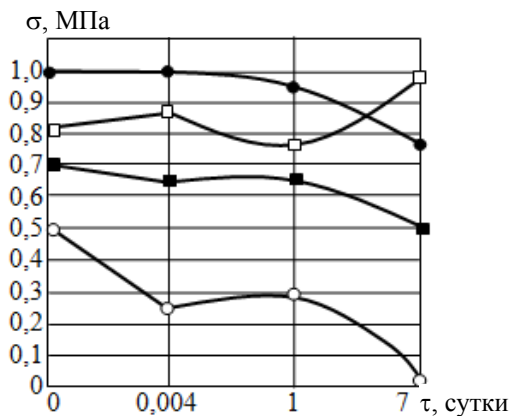


Рис. 5.5. Изменение прочности битумных композиций при действии HNO_3 5% концентрации:

- – чистый битум;
- – 10 масс. %;
- – 30 масс. %;
- – 50 масс. %

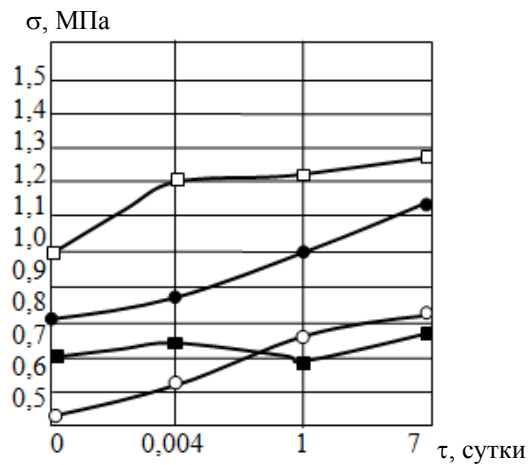


Рис. 5.6. Изменение прочности битумных композиций при действии едкого натра 25% концентрации:

- – чистый битум;
- – 10 масс. %;
- – 30 масс. %;
- – 50 масс. %

чением времени он кристаллизуется, в связи с чем меняется и характер его воздействия на битумные композиции.

Анализируя полученные результаты исследований можно сказать, что введение асбофрикционных отходов в битум не снижает, а при большой концентрации (50 масс. %) повышает его химическую стойкость во всех исследованных средах. Кроме того, битумные композиции после выдержки в серной, уксусной кислотах и едком натре, увеличивают прочность на 20...40%, в азотной кислоте на 20% снижают (за исключением композиции с 50 масс. % АФО).

6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БИТУМНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Композиционные битумные материалы обладают целым рядом преимуществ, позволяющих применять их в качестве гидроизоляционных, дорожных и кровельных покрытий. Однако их широкое применение сдерживается отсутствием данных по долговечности и как следствие о надёжности в эксплуатационных условиях. Как правило, гидроизоляционные покрытия недоступны для осмотра и ремонта, поэтому срок их службы должен быть не меньше срока службы сооружения в целом. При устройстве кровельных покрытий расчётная долговечность с точки зрения экономической эффективности должна быть не менее 25 лет, в ряде случаев достигать 100 лет. Это ставит задачу прогнозирования долговечности композиционных битумных материалов на требуемый срок по результатам кратковременных испытаний.

Старение кровельных и гидроизоляционных материалов вызывается следующими факторами:

- 1) атмосферным старением, вызываемым действием солнечной радиации, попеременного замораживания и оттаивания, перепада температур;
- 2) разуплотнением под воздействием проникающей в покрытие воды, что приводит к снижению механической прочности;
- 3) воздействием газообразных продуктов, выбрасываемых промышленными предприятиями, которые, вступая в реакцию с влагой воздуха, превращаются в растворы кислот и щелочей;
- 4) трещинообразованием от действия температурных напряжений;
- 5) явлением «статической усталости», которое вызывает накопление микродефектов, что также ведёт к потере прочностных свойств покрытия и нарушению его сплошности.

Прогнозирование долговечности битумных материалов возможно несколькими способами:

1. Анализ испытаний ряда полимерных материалов в различных эксплуатационных условиях показал, что охарактеризовать изменение свойств материала во времени можно по такой интегральной характеристике, как модуль упругости, приняв при этом за основу зависимость Кольрауша:

$$E_t = E_\infty \pm E_\theta \exp\left(\frac{t}{\theta}\right)^\varphi, \quad (6.1)$$

где E_t – комплексный модуль упругости материала за время t ; E_∞ – равновесная часть модуля; E_θ – релаксирующая часть модуля; θ и φ – константы, характеризующие интенсивность изменения свойств.

Тогда, полагая коэффициент старения $K_{ст}$ и коэффициент водоустойчивости $K_{в}$ равными отношению модулей, получим

$$K_{ст} = K_{в} = 1 \pm \frac{E_0}{E_\infty} \exp\left(-\frac{t}{\theta}\right)^\varphi = 1 \pm v_t \exp(-\varphi\theta), \quad (6.2)$$

где v_t – скорость изменения комплексного модуля во времени, причём оказывается, что соблюдается линейная зависимость $K_{ст} = f(\lg t)$; в случае атмосферного воздействия в уравнении будет знак «+», а при воздействии воды – знак «-», т.е. модуль соответственно возрастает и уменьшается, причём

$$K_{ст} = 1 \pm v_t (\lg t_p - \lg t_0), \quad (6.3)$$

где t_p – время до разрушения при старении; t_0 – некоторый первоначальный промежуток времени инкубационного периода старения, когда свойства материала практически не изменяются.

Обработка экспериментальных данных позволяет прогнозировать долговечность материала и расчётный срок его надёжной службы, если принимать $K_{ст. \min} \approx 0,5$, т.е. двойное размягчение материала в воде, или $K_{ст. \max} \approx 2,0$, т.е. двойное повышение жёсткости при атмосферном старении, поскольку при больших или меньших значениях $K_{ст}$ начинается уже каскадное разрушение материала.

2. Большое влияние на долговечность оказывает атмосфера. Её воздействие отличается высокой химической и физической агрессивностью по отношению к органическим веществам, что приводит к постепенному старению кровельных покрытий, повышению их жёсткости и растрескиванию при переменных температурах или периодическом замораживании, а также размыву водой. Из экспериментов Л. И. Маниной следует, что под действием ультрафиолетового облучения интенсивно стареет поверхностный слой битума толщиной 0,10...0,15 мм, который растрескивается и смывается водой. Таким образом, одним из факторов старения битумов в кровельных покрытиях следует считать его термоокисление в тонком поверхностном слое, сопровождающееся реакциями конденсации и полимеризации компонентов битума. Зависимость этих процессов от времени может быть аппроксимирована в соответствии с известным законом Аррениуса экспоненциальными или логарифмическими уравнениями:

$$v_t = K \exp\left(-\frac{U}{RT}\right); \quad (6.4)$$

$$\ln v_t = \lg K - \frac{U_t}{RT}; \quad (6.5)$$

$$\lg v_t = \lg K - \frac{0,43U_0}{RT}, \quad (6.6)$$

где v_t – скорость термоокислительной деструкции; T – абсолютная температура; K – константа скорости; U_0 – начальная энергия активации термоокислительной деструкции; R – универсальная газовая постоянная.

Другое явление, которое встречается при изучении атмосферостойкости кровельных покрытий, – это термонапряженное состояние и расстрескивание под влиянием усилий, возникающих в покрытии из-за разности коэффициентов линейного температурного расширения (КЛТР) битума и бетона основания.

При изменении температуры на величину Δt за время t в покрытии должны возникнуть температурные деформации.

Такая деформация приводит к возникновению растягивающего напряжения σ_t , которое с учётом зависимостей Кельвина–Фойгта для вязкоупругих материалов и Оствальда де Ваала для аномально вязких можно выразить уравнением

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E_y} + \frac{\sigma_t(1 - e^{-t/\theta})}{E_3} + \frac{(\sigma_t - \sigma_0)^\beta}{\eta_0} t, \quad (6.7)$$

где ε_t – деформация в определённый промежуток времени; σ_t – предел текучести в определённый промежуток времени; $E_y = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_y}$ – модуль упругости;

$E_3 = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_3}$ – модуль эластичности; $\theta = \frac{\eta_0}{E_3}$ – время релаксации;

σ – предел текучести длительной прочности; $\eta_0 = \frac{\sigma}{d\varepsilon/dt}$ – наибольшая

структурная вязкость; β – мера аномальности вязкости как степень отклонения от вязкости идеально вязкого (ньютонова) тела, для которого $\beta = 1$. Все константы этого уравнения можно вычислить из реологических кривых (рис. 6.1).

Для вязкоупругого тела величина температурных напряжений определяется уравнением

$$\sigma_t = (\alpha_n - \alpha_0) \Delta t \frac{E_y E_3}{E_3 + E_y (1 - e^{-t/\theta})} \leq \sigma_0, \quad (6.8)$$

где α_n и α_0 – коэффициенты теплового расширения.

3. В настоящее время наибольшее развитие при оценке явления статической усталости и прогнозирования долговечности материалов получили молекулярно-кинетическая теория академика С. Н. Журкова и предложенная им экспоненциальная зависимость долговечности вещества от действующего напряжения σ

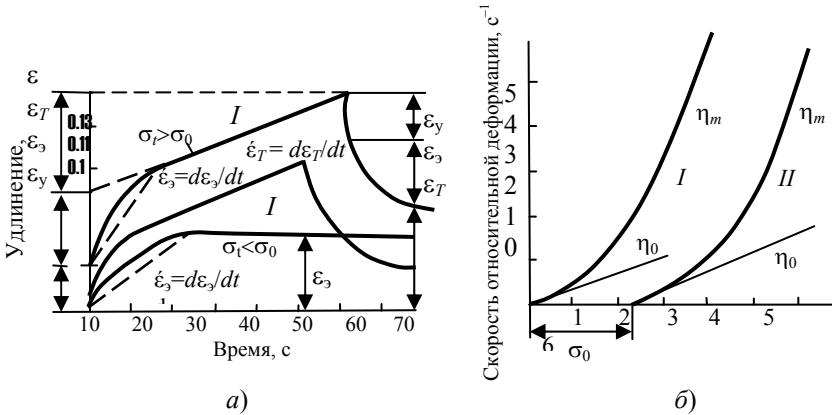


Рис. 6.1. Реологические кривые деформирования упруговязкопластичных материалов:

a – кривые ползучести; *б* – полные реологические кривые; *I* – битум; *II* – полимербитумная композиция; η_m – структурная вязкость установившегося течения

$$\tau_p = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma_0 \sigma}{KT}\right), \quad (6.9)$$

где τ_p – деформационная долговечность; τ_0 – период тепловых колебаний атомов в твёрдых телах (10^{-13}); U_0 – энергия активации термохимической деструкции материала; γ_0 – структурно-чувствительный коэффициент; K – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

Фроловой М. К. доказана применимость формулы Журкова к прогнозированию долговечности битумно-наиритовых композиций (БНК), определены значения параметров в уравнении (6.9) и вычислена их долговечность в различных условиях. Установлено, что зависимость значения структурно-чувствительного коэффициента γ_c от продолжительности старения t_c может быть выражена линейной зависимостью

$$\gamma_c = \gamma_0 + at_c, \quad (6.10)$$

причём по мере старения БНК значение структурно-чувствительного коэффициента возрастает. Таким образом, по этой методике при прогнозировании долговечности представляется возможным учесть явления статической усталости и старения материала.

Самой распространённой причиной разрушения гидроизоляционных и кровельных материалов является разрыв, образование трещин в покрытиях. Их целостность зависит от деформативной способности и прочности самого материала, являющихся основными факторами, обуславливающими его надёжность и долговечность. Следует заметить, что способы расчёта трещиностойчивости покрытий, учитывающие температурные на-

пряжения, зависящие от особенностей климатической зоны эксплуатации, существуют в основном для асфальтобетонов. В работе А. М. Кисиной, В. Н. Куценко представлен инженерный способ определения надёжности полимербитумной гидроизоляции и сроков её службы с учётом климатических факторов.

Если рассматривать полимербитумную композицию как упруговязкопластичное тело, то в общем виде взаимосвязь между возникающими деформациями и действующими растягивающими (сжимающими) напряжениями может быть представлена в виде формулы (6.8).

Структурно-реологические характеристики полимербитумных материалов определяются при одноосной деформации растяжения и статически постоянных нагрузках ($\sigma - \text{const}$; $t - \text{const}$). Строятся кривые ползучести и полные реологические кривые. После нахождения значения всех составляющих деформации по приведенным ранее формулам определяются модуль упругости, модуль высокоэластической деформации, наибольшая пластическая и эластическая вязкость. Мера аномальности β определяется по углу наклона прямой $\lg \varepsilon_T - f(\lg \sigma)$, а предел длительной прочности σ_0 – экстраполяцией полной реологической кривой до пересечения с осью напряжений. Зависимость структурно-реологических констант для различных полимербитумных материалов от температуры представлена на рис. 6.2.

Зависимости (6.4) – (6.6), учитывающие все структурно-реологические особенности полимербитумных композиций, достаточно сложны. Поэтому при решении большинства реологических задач для битумных и асфальтовых материалов пренебрегают упругими и высокоэластическими составляющими общей деформации и учитывают только третий член, характеризующий деформации вязкого течения:

$$\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{(\sigma - \sigma_0)^\beta}{\eta_0}. \quad (6.11)$$

Но у полимербитумных композиций упругая и высокоэластическая составляющие общей деформации весьма заметны. Поэтому при их расчёте необходимо учитывать упругоэластические и вязкотекучие деформации. В связи с этим целесообразно рассмотреть два случая.

Первый случай. Возникающие температурные напряжения меньше предела длительной прочности, и возникающие деформации определяются только упруговязкопластическими свойствами материала:

$$\sigma_t = (\alpha_k - \alpha_0)(t_{\max} - t_{\min}) \frac{E_y E_3}{E_3 + E_y (1 - e^{t/\theta})}, \quad (6.12)$$

где α_k – критический коэффициент теплового расширения.

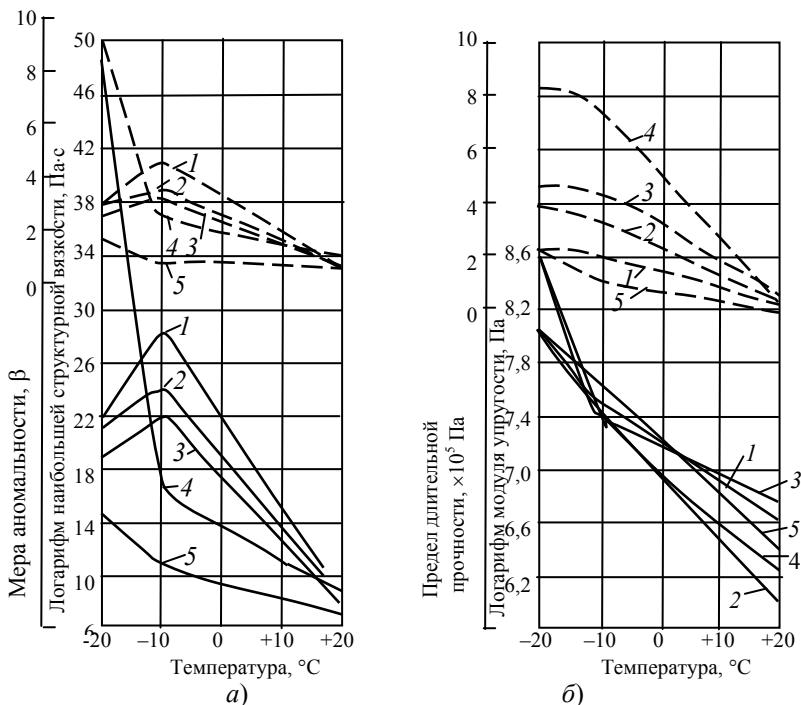


Рис. 6.2. Зависимость структурно-реологических констант полимербитумных композиций от температуры:

a – мера аномальности (---) и наибольшая структурная вязкость (—);
б – модуль упругости (—) и предел длительной прочности (---);
 1 – БН 70/30 + 10% БК; 2 – БН 70/30 + 10% СКЭПТ-60; 3 – БН 70/30 + 10% СЭП;
 4 – БН 70/30 + 10% ДСТ; 5 – БН 70/30

Второй случай. Возникающие температурные напряжения больше предела длительной прочности, и имеет место вязкое течение. Возникающие напряжения зависят от толщины покрытия δ и длины расчётного участка L . С учётом этого получают:

$$\sigma_t = \frac{L}{2\delta\epsilon^{t/\theta}} \left[\sigma_0 + \sqrt{\frac{1}{3}(\alpha_k - \alpha_0)\nu_t\eta_0} \right]. \quad (6.13)$$

Приближенное уравнение (6.12) получено в предположении, что в расчётный период времени существует постоянство скорости изменения температуры, т.е. $\nu_t = \text{const}$, пределы текучести при сдвиге и растяжении одинаковы, а вязкость при сдвиге в 3 раза меньше, чем при растяжении.

Предполагается также постоянство температуры и напряжений по толщине покрытия, а адгезии – по длине участка. Долговечность материала, согласно современной кинетической теории прочности твёрдых тел, зависит от продолжительности пребывания материала в напряжённом состоянии.

4. Согласно флуктуационно-временной теории разрушения главным фактором при разрушении является не внешняя сила, а тепловые движения атомов, порождающие энергетические флуктуации. Внешняя сила обеспечивает только направленность процесса.

Для определения закономерности изменения долговечности полимербитумных композиций от температуры и действующего напряжения получают температурно-силовые зависимости. Зависимости исследуются в некотором интервале температур.

Материалы образуют семейства кривых, которые пересекаются в одной точке, называемой полюсом (рис. 6.3). Наклон прямых закономерно

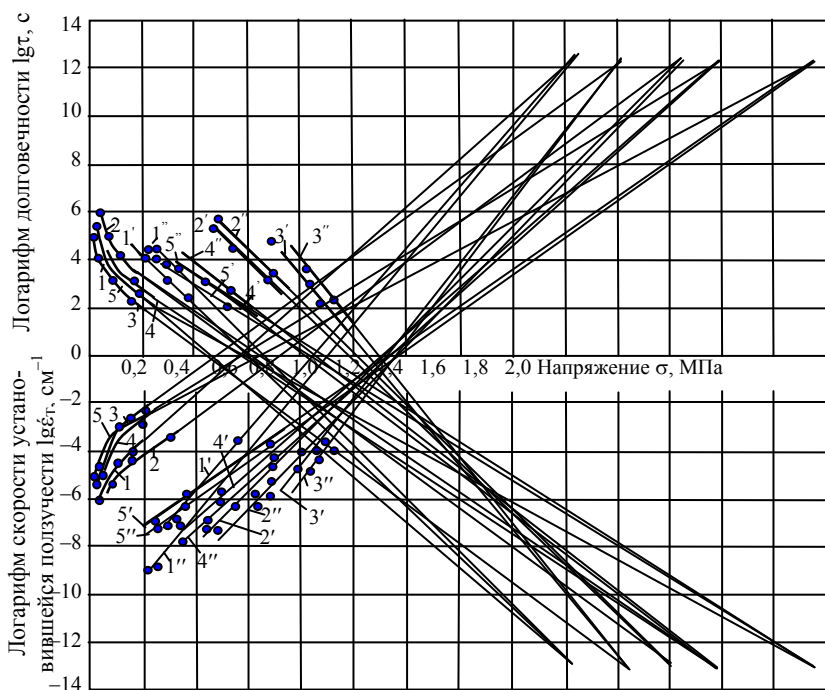


Рис. 6.3. Зависимость долговечности и скорости ползучести полимербитумных композиций от температуры и напряжения
 1 – БН 70/30 + 10% БК; 2 – БН 70/30 + 10% СЭП; 3 – БН 70/30 + 10% ДСТ;
 4 – БН 70/30 + 10% СКЭПТ – 70; 1' – 5' = –10°C; 1'' – 5'' = –20 °C

изменяется с изменением температуры. У всех исследованных материалов [4] зависимость скорости установившейся ползучести от напряжения является фактически «зеркальным отображением» соответствующей зависимости для долговечности. Из этого следует, что для аналитической зависимости скорости установившейся ползучести имеет место выражение

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 \exp\left(\frac{-U_{0\text{полз}} - \gamma'\sigma}{KT}\right), \quad (6.14)$$

где $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации; $\dot{\varepsilon}_0$ – начальная скорость деформации; $U_{0\text{полз}}$ – начальная энергия активации ползучести; γ' – структурно-механическая константа.

Выражение (6.14) полностью аналогично выражению (6.9) для долговечности, только с обратным знаком.

Выражение (6.14) свидетельствует о термофлуктуационной природе процесса ползучести. Показано полное количественное совпадение параметров процессов ползучести и долговечности $U_{0\text{полз}} = U_0$ и $\gamma' = \gamma$.

Из этих равенств при постоянстве ε_0 и τ_0 следует, что произведение установившейся скорости ползучести на долговечность оказывается величиной постоянной:

$$\tau\dot{\varepsilon} = \tau_0\dot{\varepsilon}_0 = \text{const} = [\varepsilon], \quad (6.15)$$

т.е. величина критической деформации ползучести при данной температуре должна быть постоянной и слабо изменяться от напряжения.

Исходя из предположения о кинетической природе прочности полимербитумных материалов, можно определить энергию активации процесса разрушения

$$U(\sigma) = 2,3KT \lg \frac{\tau}{\tau_0}, \quad (6.16)$$

или в расчёте на 1 грамм-моль, полагая $\lg \tau_0 = -13$, получим

$$U(\sigma) = 2,3RT(\lg \tau + 13),$$

где R – универсальная газовая постоянная ($8,4/10^{-3}$ кДж/(моль·град)).

При условии непрерывного изменения температуры и напряжения, а также исходя из предположения, что процесс разрушения под действием напряжений необратим, для расчёта долговечности служит критерий Бейли:

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{\tau[\sigma(t)]}, \quad (6.17)$$

где t_p – время до разрушения при переменном напряжении; $\tau[\sigma(t)]$ – функция долговечности.

Значения долговечности определяют по кривым температурно-силовых зависимостей или по формуле (6.9). Если принять общее количество дней в году за 100%, P_1 – процентное содержание дней в году с температурой T_1 , P_2 – процентное содержание дней в году с температурой T_2 ; ...; P_n – процентное содержание дней в году с температурой T_n ; $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ – долговечность материала соответственно при температурах T_1, T_2, \dots, T_n , тогда долговечность покрытия при непрерывном изменении температуры и напряжения во времени $\tau[\sigma(t)]$ может быть определена по формуле [4]

$$\tau[\sigma(t)] = \frac{100}{\frac{P_1}{\tau_1} + \frac{P_2}{\tau_2} + \dots + \frac{P_n}{\tau_n} + \frac{g}{\tau_g}}. \quad (6.18)$$

5. Процессы естественного накопления повреждений в кровлях, которые служат причиной снижения работоспособности слоёв гидроизоляции в составе кровель, и развитие в них постепенных отказов, М. И. Поваляев рассматривает с позиции теории надёжности систем с накоплением нарушений. В основе этой теории лежит допущение, что изменение параметров составляющих системы и появление нарушения не вызывают немедленного её отказа. Тогда изменение структуры и свойств битуминозных гидроизоляционных материалов, обуславливающих их старение, правомерно рассматривать с учётом кинетики гомогенных химических реакций, у которых изменение концентрации реагирующих веществ – увеличение высокомолекулярной части (асфальтенов) от начальных значений C_0 до значений C_t за время t .

Отсюда время старения материалов:

$$t = \frac{\ln C_t - \ln C_0}{k_0} \exp Q/RT, \quad (6.19)$$

где k_0 – константа скорости реакций при бесконечно большой температуре, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; Q – эффективная энергия активации, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная, равная 8,713 Дж/($^{\circ}\text{C} \cdot \text{моль}$); T – абсолютная температура, $^{\circ}\text{C}$.

Так как зависимость твёрдости и хрупкости битуминозных материалов от содержания в них асфальтенов пропорциональная, расчётную долговечность материалов можно определять по времени достижения предельных значений их температур хрупкости ($T_{\text{хр}}^{\text{нр}}$) и размягчения ($T_{\text{р}}^{\text{нр}}$), при которых утрачивается работоспособность этих материалов в составе кровель.

Качественный анализ уравнения (6.19) создаёт предпосылки для разработки теоретических основ повышения долговечности гидроизоляционных слоёв и надёжности кровель к постепенным отказам.

6. В качестве примера способа расчёта долговечности дорожного покрытия можно представить расчёт, предложенный П. И. Теляевым. В связи с появлением за последнее время новых материалов, немаловажным аспектом современных методик, должна стать возможность использования в конструкциях дорожных одежд нетрадиционных материалов и отходов промышленности с обеспечением гарантии долговечности конструкций. Другим фактором, оказавшим существенное влияние на создание теории конструирования, стало наличие критерия прочности дорожных одежд по упругому прогибу, который стал в последнее время консервативным подходом при конструировании. Если рассматривать монолитный слой, способный изгибаться как плита на упругом основании, то растягивающие напряжения при изгибе определяются кривизной поверхности плиты под нагрузкой, толщиной плиты и модулем упругости материала плиты. В этом случае кривизна поверхности является конструкционной характеристикой дорожной одежды. Причём, чем меньше кривизна покрытия, тем меньше растягивающие напряжения при изгибе. Если конструкция дорожной одежды включает несколько слоёв, способных воспринимать растягивающие напряжения при изгибе, то жёсткость такой конструкции выше и кривизна больше.

В качестве показателя жёсткости монолитного слоя можно принять его цилиндрическую жёсткость:

$$D_i = E_i h_i^3 / 12 (1 - m_i^2), \quad (6.20)$$

где E_i , m_i и h_i модуль упругости материала слоя, коэффициент Пуассона и толщина слоя соответственно. Допустимая относительная деформация при изгибе может быть определена из [31]. Фактическая кривизна покрытия дорожной одежды больше, чем принимается при расчётах на растяжение при изгибе.

Общая жёсткость слоёв одежды, способных работать на изгиб, равна

$$D_{\text{общ}} = D_1 + D_2 + D_3. \quad (6.21)$$

При одинаковом значении требуемого модуля упругости дорожная одежда, имеющая большее значение D , обладает повышенным сопротивлением изгибу и создаёт меньшее реактивное давление на основание. В зависимости от спаянности контакта слоёв вертикальные напряжения в нижнем слое трёхслойных систем могут отличаться в 1,5 – 2 раза.

7. КРОВЕЛЬНЫЕ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ

Одним из важнейших эксплуатационных параметров кровельных материалов является долговечность (потенциальный срок службы). Для многих битумных материалов она, как правило, невысокая (порядка 10 – 15 лет). Уже через несколько лет эксплуатации мягкая битумная кровля начинает протекать. Разрушение происходит путём механических повреждений в процессе монтажа и эксплуатации, а также в результате старения при воздействии окружающей среды.

Основными эксплуатационными параметрами, определяющими долговечность любого конструкционного материала являются нагрузка и температура. Кроме того, в течение всего срока эксплуатации большинство строительных материалов, включая и кровельные, подвергаются воздействию агрессивных факторов внешней среды (активные жидкости, УФ-облучение), что значительно снижает их долговечность.

Влияние температуры и силового воздействия на долговечность битумных кровельных композитов можно учесть с позиций термоактивной (кинетической) концепции разрушения и деформирования.

Долженкова М. В. разработала методику прогнозирования долговечности битумно-полимерных кровельных композитов в эксплуатационном диапазоне напряжений и температур с учётом дополнительных неблагоприятных воздействий внешней среды.

7.1. ВЛИЯНИЕ УФ-ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БИТУМНЫХ КРОВЕЛЬ

В условиях эксплуатации битумные кровли подвергаются УФ-облучению, что приводит к фотодеструкции, снижающей их прочность и долговечность. Для оценки влияния УФ-облучения на сопротивление разрушению битумных кровель образцы бикроста, стекломаста, стеклобита в виде двусторонних лопаток подвергали облучению в специальной камере лампами ПРК в течение различного времени (от 12 до 108 ч). Испытания проводили на одноосное растяжение при постоянной скорости нагружения (кратковременные) и заданных постоянных напряжениях и температурах (длительные). В результате кратковременных испытаний фиксировали величины разрушающих напряжений.

Для всех кровельных материалов после 12 ч облучения прочность падает на 20...25% (рис. 7.1). С увеличением времени облучения от 12 до 52 ч прочность стекломаста и стеклобита практически не меняется, а бикроста увеличивается на 12...15%. После 52...60 ч облучения прочность стекломаста и стеклобита падает еще на 8...10%, а бикроста – на 12%. К 100 ч облучения прочность стекломаста и стек-

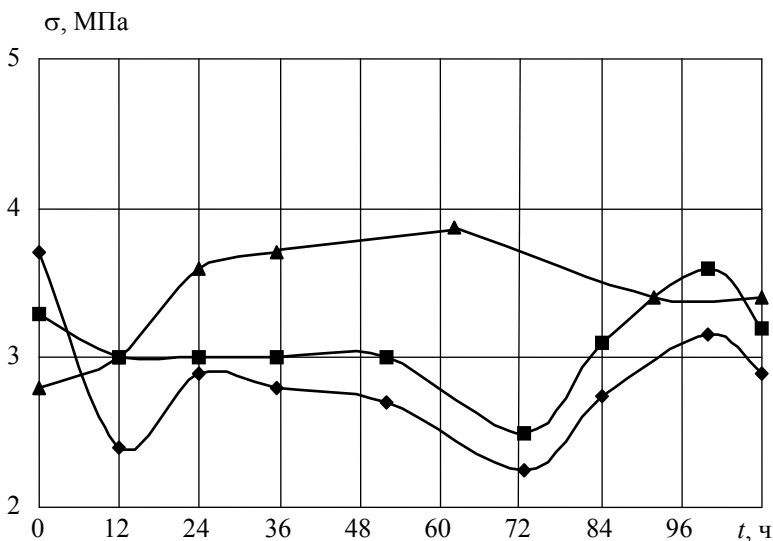


Рис. 7.1. Влияние времени УФ-облучения на прочность при одноосном растяжении бикроста и среза стекломаста и стеклобита:

◆ – стеклобит; ■ – стекломаст; ▲ – бикрост

лобита достигает исходной величины. Таким образом, УФ-облучение экстремально влияет на прочность кровельных материалов, что, по-видимому, связано с физико-химическими процессами, протекающими при фотодеструкции битумной кровли.

Для выявления механизма разрушения и оценки вклада фотодеструкции в процесс механодеструкции битумной кровли после 108 ч облучения проводили длительные механические испытания исследуемых материалов при одноосном растяжении и срезе при температуре +18 °С. Экспериментальные результаты в координатах $\lg t - \sigma$ при комнатной температуре показаны на рис. 7.2. Из рисунка видно, что 108 ч облучения не влияет на долговечность стеклобита, снижает её у бикроста и по-разному проявляется у стекломаста – ниже напряжения 1,75 МПа долговечность падает, а выше – растёт. Последнее, по-видимому, связано с комбинацией процессов фото- и механодеструкции в данном кровельном материале.

Для бикроста при одноосном растяжении получены зависимости $\lg t - \sigma$ при вариации заданных постоянных температур (рис. 7.3). При определении констант графоаналитическим способом зависимости $\lg t - \sigma$ перестроили в координаты $\lg t - 10^3/T$ (рис. 7.3, б). Из последних зависи-

мостей по программе «Konstanta» в координатах $U - \sigma$ (рис. 7.4) определили величины максимальной энергии активации U_0 и структурно-механической константы γ .

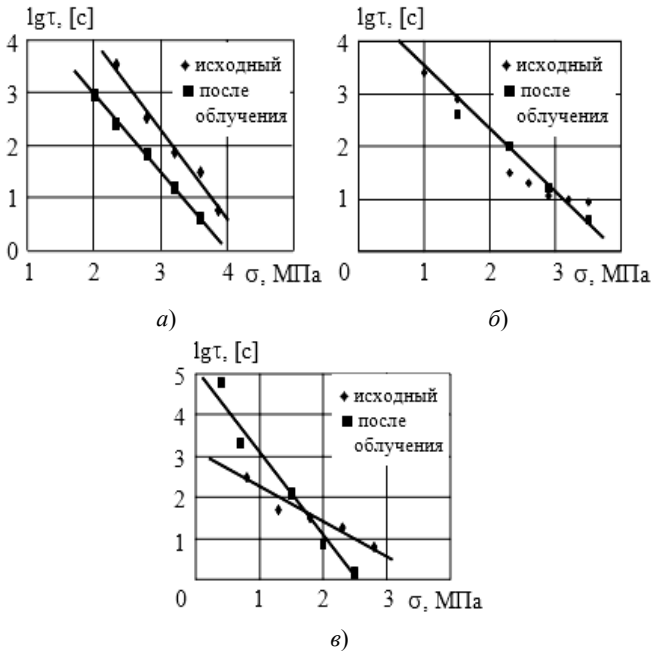


Рис. 7.2. Зависимости долговечности при одноосном растяжении бикроста (а) и среза стеклобита (б) и стекломаста (в) от напряжения при температуре $18 \pm 2^\circ \text{C}$ до и после 108 ч УФ-облучения

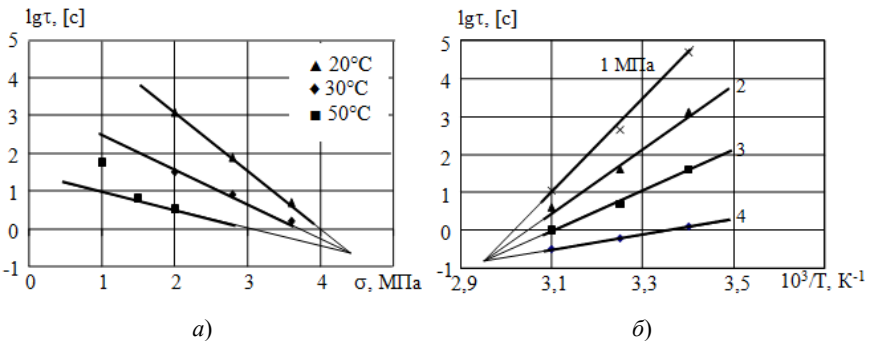


Рис. 7.3. Зависимости долговечности при одноосном растяжении от напряжения (а) и обратной температуры (б) для бикроста после 108 ч УФ-облучения

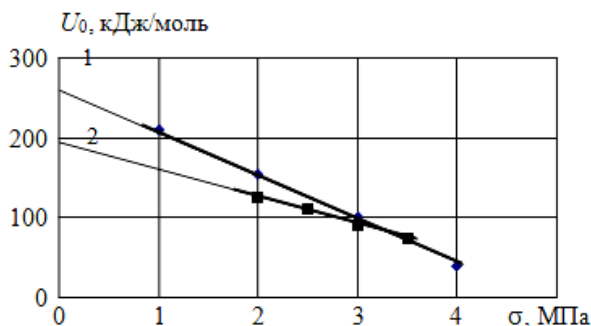


Рис. 7.4. Зависимости эффективной энергии активации разрушения от напряжения для бикроста до (1) и после 108 ч УФ-облучения (2)

7.1. Значения физических констант бикроста до и после облучения

Время облучения, ч	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(моль·МПа)	T_m , К	τ_m , с	$\sigma_m = U_0/\gamma$, МПа
0	195	35	368	$10^{-1,2}$	5,57
108	270	57	339	$10^{-0,7}$	4,74

Величины всех констант для бикроста представлены в табл. 7.1.

После облучения величины U_0 и γ существенно возрастают. Это указывает на изменение кинетики механохимической деструкции, приводящей к разрушению физической структуры. В результате на 30 °С снижается предельная температура размягчения (T_m) и увеличивается период колебаний кинетических единиц за счёт укрупнения последних (образования ассоциатов), что ранее наблюдалось для термопластов.

Величина предельной прочности σ_m (табл. 7.1) после облучения бикроста падает на 15%.

7.2. ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БИТУМНЫХ КРОВЕЛЬ

Битумные кровли контактируют с различными жидкостями. Для выявления влияния различных по природе жидких сред на прочность рубероида, бикроста и битумно-полимерного композита (БН 90/10 с

30 масс. % асбесторезино-эпоксидной смеси) образцы выдерживали в воде, бензине, машинном масле, в кислотах неорганических (серной H_2SO_4 и азотной HNO_3), органической (уксусной) и щёлочи (едком натре). Образцы рубероида выдерживали в средах до 13 сут, битумно-полимерного композита до 7 сут. Испытания проводили при срезе на рычажной установке.

Зависимости прочности рубероида от времени выдержки в жидкой среде (рис. 7.5) говорят о том, что в воде и масле прочность вначале падает, но после 70 ч выдержки начинает расти, что, по-видимому, связано с повышением однородности структуры рубероида. Несколько неожиданно ведёт себя рубероид в бензине. При контакте с ним битум растворяется, рубероид становится пластичным, что в первые минуты приводит к резкому снижению прочности, а затем – к увеличению. В течение суток прочность рубероида в бензине достигает максимального значения, а затем линейно падает во времени. Падение, по-видимому, связано с вымыванием битума из картонной основы рубероида.

Для битумно-полимерного композита и битума БН 90/10 зависимости прочности от времени выдержки в жидких средах (рис. 7.6) говорят о том, что прочность в серной кислоте 25% концентрации и уксусной кислоте 5% концентрации в течение суток снижается, а после 7 сут выдержки незначительно повышается. В азотной кислоте с увеличением времени воздействия прочность падает, а в щёлочи – повышается. Повышение прочности в щёлочи, по-видимому, связано с тем, что с течением времени едкий натр кристаллизуется, и характер его воздействия на битумно-полимерный композит меняется по сравнению с чистым битумом.

Таким образом, наличие основы и наполнителя в битумных кровлях не снижает, а в некоторых средах (серной и азотной кислотах) даже повышает их химическую стойкость.

Оценку влияния агрессивной жидкой среды на долговечность битумной кровли проводили для бикроста в режиме заданных постоянных напряжений и температуре 18 ± 2 °С при одноосном растяжении. Образцы выдерживали в течение 1, 3 и 18 ч в машинном масле. В результате испытаний фиксировали время до разрушения. После контакта с машинным маслом характер зависимости не меняется, но долговечность резко падает и далее практически не зависит от времени выдержки (рис. 7.6). Влияние агрессивной среды можно учесть введением поправок, определённым эмпирически для битумных кровель в агрессивных средах различной природы.

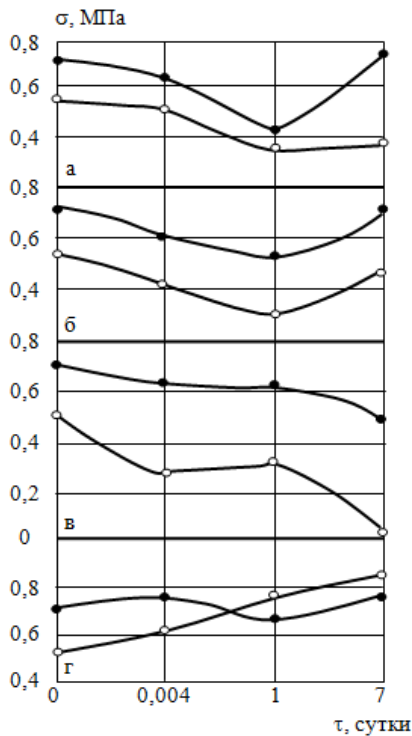


Рис. 7.5. Влияние времени выдержки в жидких средах на прочность рубероида:
 □ – в воде; ● – бензине; ○ – машинном масле

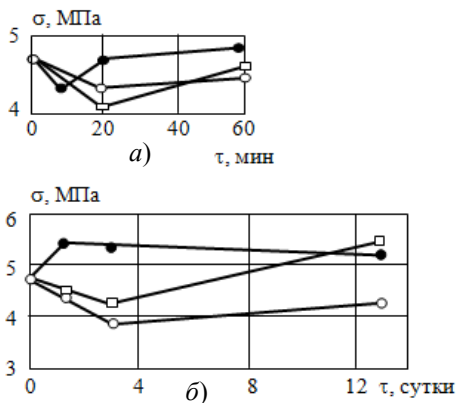


Рис. 7.6. Влияние времени выдержки в жидких средах на прочность битума БН 90/10 (○) и битумополимерные композиты (●):
 а – 25% H_2SO_4 ; б – 5% уксусной кислоты; в – 5% HNO_3 ; г – 25% едкий натр

7.3. ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМНОЙ КРОВЛИ

Механическое сопротивление многократному замачиванию-высушиванию и замораживанию-оттаиванию является важной эксплуатационной характеристикой строительных материалов. В процессе циклических температурно-влажностных воздействий испытания материалов проводят при разных видах нагружения. Для замораживания обычно используют морозильные камеры.

Циклические температурно-влажностные испытания проводили для рубероида марки РПП-300Б, бикроста, стекломаста, стеклобита с посыпкой и без посыпки. Прочность материалов до и после воздействия определяли при срезе.

Перед замораживанием их замачивали в течение 3 ч в воде. В морозильной камере при $t = -18$ °С выдерживали до полного промерзания (в течение 2 ч). После камеры оттаявшие образцы высушивали. Без замораживания после замачивания образцы в течение 2 ч нагревали в термостате при $t = +50$ °С. Испытания проводили до 70 циклов замачивания-высушивания и замораживания-оттаивания, фиксируя прочность через каждые 10 циклов. 70 циклов – максимальное число переходов температуры через 0 °С для Тамбовской области в течение 3-х лет.

Зависимости прочности от числа циклов воздействия представлены на рис. 7.7 – 7.9. Из рисунков видно, что уже после 10 циклов замораживания-оттаивания прочность исследованных материалов резко меняется. Для битума она резко падает, а для рубероида существенно возрастает. С увеличением числа циклов замораживания-оттаивания прочность материалов стабилизируется, а после 50 циклов для битума появляется тенденция к повышению, для рубероида – к падению.

Повышение прочности рубероида, по-видимому, связано с процессами релаксации напряжений на границе связующего и основы после температурно-влажностных воздействий, приводящих к стабилизации и упрочнению его структуры. Для битума падение прочности можно объяснить образованием трещин из-за активизации механической деструкции в хрупком битуме (при отрицательных температурах). Полученные результаты указывают на положительную роль сплошной основы (картона) для увеличения срока эксплуатации битумной кровли.

Замораживание-оттаивание оказывает существенно меньшее влияние на прочность, чем замачивание-высушивание. Наибольшее падение прочности в результате циклических температурно-влажностных воздействий наблюдается для стеклобита без посыпки. Это необходимо учитывать при выборе кровли в районах с большим числом циклов перехода через 0 °С и чередованием дождей и ясной погоды.

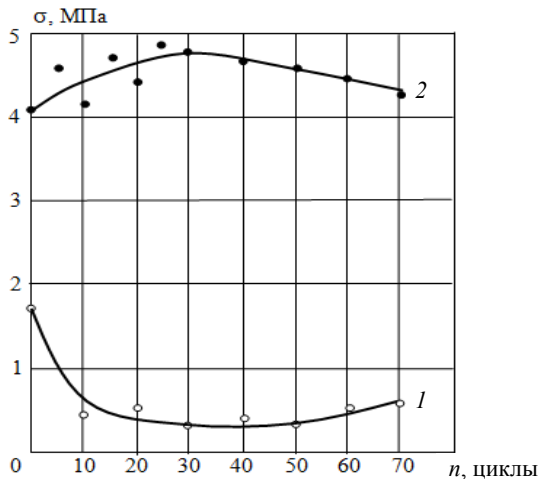


Рис. 7.7. Зависимости прочности при срезе битума (1) и рубероида (2) от числа циклов замораживания-оттаивания

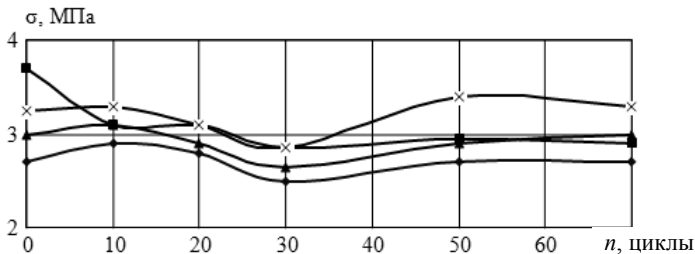


Рис. 7.8. Влияние числа циклов замораживания-оттаивания на прочность при срезе бикроста, стеклобита, стеклобита с посыпкой и стекломаста:
 ◆ – бикрост; ■ – стеклобит; ▲ – стеклобит с посыпкой; × – стекломаст

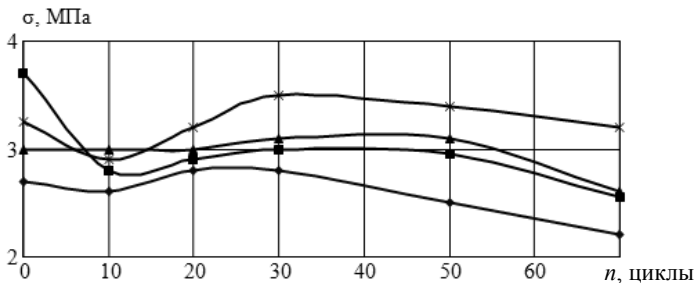


Рис. 7.9. Влияние числа циклов замачивания-высушивания на прочность при срезе бикроста, стеклобита, стеклобита с посыпкой и стекломаста:
 ◆ – бикрост; ■ – стеклобит; ▲ – стеклобит с посыпкой; × – стекломаст

8. АСФАЛЬТОБЕТОНЫ

Асфальтобетонной называется смесь, приготовленная в смесительных установках из взятых в определённых соотношениях щебня (гравия), песка, минерального порошка и битума. Асфальтобетоном называют материал, который получают после уплотнения асфальтобетонной смеси.

В зависимости от вязкости битума и условий применения асфальтобетонные смеси подразделяют на виды:

1) горячие – смеси, приготовленные с использованием жидких и вязких нефтяных и дорожных битумов и применяемые непосредственно после приготовления с температурой смеси при укладке не ниже 120 °С;

2) холодные – смеси, приготовленные с использованием жидких нефтяных дорожных битумов, допускаемые к длительному хранению и укладываемые с температурой не ниже 5 °С.

Асфальтобетоны из горячих смесей в зависимости от значения остаточной пористости подразделяют на :

- 1) высокоплотные с остаточной пористостью от 1,0 до 2,5%;
- 2) плотные с остаточной пористостью свыше 2,5 до 5,0%;
- 3) пористые с остаточной пористостью свыше 5 до 10%;
- 4) высокопористые с остаточной пористостью свыше 10 до 18%.

Асфальтобетоны из холодных смесей должны иметь остаточную пористость от 6 до 10%.

Щебёночные и гравийные горячие смеси и плотные асфальтобетоны, в зависимости от содержания в них щебня (гравия), подразделяют на типы:

- А – с содержанием щебня свыше 50 до 60%;
- Б – с содержанием щебня свыше 40 до 50%;
- В – с содержанием щебня свыше 30 до 40%.

Щебёночные и гравийные холодные смеси в зависимости от содержания в них щебня (гравия) подразделяют на типы Бх и Вх.

Горячие и холодные песчаные смеси в зависимости от вида песка подразделяют на типы:

Г и Гх – на песках из отсевов дробления, а также на смесях с природным песком при содержании последнего не более 30% по массе;

Д и Дх – на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления при содержании последних менее 70% по массе.

Смеси и асфальтобетоны, в зависимости от показателей физико-механических свойств и применяемых материалов, подразделяют на марки:

Горячие:

- высокоплотные – I;
- плотные типов: А-I, II; Б; Г-I, II, III; В; Д-II, III;
- пористые и высокопористые – I, II.

Холодные типов: БХ, ВХ, ГХ-I, II; ДХ-II.

В зависимости от наибольшего размера зёрен минеральной части горячие смеси подразделяют на:

- 1) крупнозернистые – с зёрнами размером до 40 мм;
- 2) мелкозернистые – с зёрнами размером до 20 мм;
- 3) песчаные – с зёрнами размером до 5 мм.

Холодные смеси подразделяют на мелкозернистые и песчаные.

Крупнозернистые асфальтобетонные смеси применяют для устройства нижних слоёв покрытий. Покрытия из таких смесей имеют шероховатую и пористую поверхность, которая обеспечивает хорошее сцепление с верхним слоем покрытия.

Мелкозернистые асфальтобетонные смеси применяют для устройства верхних слоёв или однослойных покрытий. Покрытия из таких смесей обладают высокой сопротивляемостью механическим и атмосферным воздействиям.

Песчаные асфальтобетонные смеси применяют для устройства верхних слоёв покрытий при средней интенсивности движения.

Для приготовления горячих асфальтобетонных смесей следует применять вязкие нефтяные дорожные битумы марок: БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200, БНД200/300, БН 60/90, БН 90/130, БН 130/200, БН 200/300 по ГОСТ 22245, а также жидкие битумы марок: СГ 130/200, МГ 130/200, ГОСТ 11955.

Для приготовления холодных асфальтобетонных смесей следует применять жидкие нефтяные дорожные битумы марок СГ 70/130, МГ 70/130. Для холодных смесей марки I следует применять жидкие битумы класса СГ. Допускается также применение битумов класса МГ при условии использования активированных минеральных порошков или предварительной обработки минеральных материалов смесью битума с поверхностно-активными веществами. Для холодных смесей марки II следует применять жидкие битумы классов СГ, МГ.

8.1. СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

В зависимости от температуры и условий деформирования асфальтобетон может находиться в следующих структурных состояниях:

– упругохрупком, при котором минеральная часть асфальтобетона строго зафиксирована застывшими прослойками битума. В таком состоянии асфальтобетон по своим свойствам приближается к цементобетону и другим искусственным материалам с кристаллизационными связями;

– упругопластичном, когда зёрна минеральной части асфальтобетона соединены прослойками битума, проявляющими при напряжениях,

не превышающих предел текучести, упругие и эластичные свойства, а при больших напряжениях – упруговязкие свойства;

– вязкопластичном, при котором зёрна минеральной части соединены полужидкими прослойками битума и небольшое по величине напряжение приводит к деформированию материала.

Под механической нагрузкой асфальтобетон проявляет комплекс различных свойств: упругость, пластичность, ползучесть, релаксацию напряжений, изменение прочности в зависимости от скорости деформирования, накопление деформации при многократных приложениях нагрузки и т.д. В зависимости от проявления тех или иных свойств к асфальтобетону применимы законы теории упругости или теории пластичности. Основными свойствами, характеризующими качество асфальтобетона, являются прочность, деформативность, ползучесть, релаксация, водостойкость, износостойкость, морозостойчивость.

Прочность – свойство асфальтобетона сопротивляться разрушению под действием механических напряжений. Теоретические основы прочности и устойчивости асфальтобетонных покрытий отражены в виде нормативов на физико-химические свойства в ГОСТ 9128–97. Показателем этих свойств в сумме прямо или косвенно характеризуют прочность при сжатии и сдвиге, трещиностойкость асфальтобетона в покрытиях.

Прочность при сжатии нормируют при 50, 20, 0 °С, что соответствует температуре покрытия в жаркий летний день и осенне-зимний период.

Деформативность асфальтобетона оценивают по относительной деформации асфальтобетонных образцов при испытании на изгиб или растяжение. Покрытие будет устойчивым против образования трещин, если асфальтобетон обладает относительным удлинением при 0 °С не менее 0,004...0,008, а при –20 °С не менее 0,001...0,002 (при скорости деформации, близкой к 5...10 мм/мин).

Ползучесть. Испытание асфальтобетона на ползучесть позволяет установить изменение деформации во времени. Ползучесть – процесс малой непрерывной пластичной деформации, протекающей в материалах в условиях длительной статической нагрузки. При испытании на ползучесть к образцу, имеющему форму цилиндра или балочки, прикладывают постоянную нагрузку, чтобы проследить работу материала в упругой (линейной) и неупругой (нелинейной) области.

Релаксация – уменьшение напряжений в материале, величина деформации в котором поддерживается постоянной. Процесс релаксации заключается в «перерождении» упругой деформации в пластичную.

Релаксация напряжений в асфальтобетоне связана с наличием битума, обладающего гораздо меньшей прочностью и вязкостью, чем минеральные материалы. Температура и вязкость битума оказывают влияние

на характер релаксации напряжений в асфальтобетоне. С понижением температуры различия в релаксационных процессах уменьшаются, с повышением – релаксационная способность материала увеличивается. На характер релаксации в значительной степени влияет напряжение, сообщаемое материалу. При высоком начальном напряжении процесс релаксации протекает интенсивно, в материале остаётся мало неотрелаксированных напряжений, что объясняется облегчением пластичного течения по релаксационным плоскостям.

Релаксационные процессы в асфальтобетоне зависят от скорости деформации (нагружения). Процесс нагружения рассматривают как совокупность двух одновременно протекающих процессов – роста напряжений и их релаксации, поэтому, чем медленнее растёт нагрузка, тем большая часть напряжений успевает отрелаксировать в процессе нагружения.

При высоких температурах интенсивность снижения напряжений служит показателем деформационной устойчивости асфальтобетона, а при низких отрицательных – показателем трещиностойкости.

Водостойкость. Асфальтобетонные покрытия при длительном увлажнении вследствие ослабления структурных связей могут разрушаться за счёт выкрашивания минеральных зёрен, что приводит к повышенному износу покрытий и образованию выбоин. Водостойкость асфальтобетона зависит от его плотности и устойчивости адгезионных связей. Вода как полярная жидкость хорошо смачивает все минеральные материалы, а это значит, что при длительном контакте минеральных зёрен, обработанных битумом, возможна диффузия воды под битумную плёнку. При этом минеральные материалы с положительным потенциалом заряда поверхности (кальцит, доломит, известняк) в большей степени препятствуют вытеснению битумной плёнки водой, чем материалы с отрицательным потенциалом поверхности (кварц, гранит, андезит).

Пористость оказывает большое влияние на водостойкость асфальтобетона, обычно она составляет 3...7%. Поры в асфальтобетоне могут быть открытые и замкнутые. С уменьшением размера зёрен увеличивается число замкнутых, недоступных воде пор. Водостойкость определяется величиной водонасыщения, набухания и коэффициента водостойкости K_v (отношение прочности водонасыщенных к прочности сухих образцов). Коэффициент водостойкости должен быть не менее 0,9, а при длительном водонасыщении (15 суток) не менее 0,8.

Морозостойкость. Замерзая зимой в порах асфальтобетона, вода переходит в лёд с увеличением в объёме на 8...9%, что создаёт в них давление свыше 29 МПа. Наибольшее разрушительное действие оказывает происходящее весной и осенью попеременное замораживание и оттаивание асфальтобетона. Знакопеременные температуры приводят к появлению трещин.

Морозостойкость асфальтобетона обычно оценивают коэффициентом KF, показывающим снижение прочности при растяжении (и сжатия на раскол) после определённого цикла замораживания насыщенных водой образцов на воздухе при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и оттаивания в воде при комнатной температуре. Число циклов принимают не менее 25. Повысить водо- и морозостойкость можно путём выбора материалов надлежащего качества, тщательного подбора составляющих, применения поверхностно-активных веществ.

Износостойкость и шероховатость асфальтобетона в покрытиях. Износ асфальтобетона происходит под действием сил трения, вызываемых проскальзыванием колёс автомобиля по поверхности покрытия и вакуумных сил, возникающих под движущимся автомобилем. Износ покрытия определяется: истиранием его структурных элементов; отрывом и износом с его поверхности зёрен песка и раздробленных щебёнок.

Износостойкость асфальтобетона тем выше, чем больше его плотность, чем выше твёрдость входящих в его состав минеральных материалов и выше сцепление зёрен щебня и песка с битумом. Асфальтобетоны, приготовленные на гранитном щебне, более износоустойчивы, чем асфальтобетоны на известняковом щебне. Применение щебня, загрязнённого глинистыми частицами, приводит к резкому снижению износостойкости за счёт вырывания щебёнок из поверхности покрытия.

Асфальтобетонные покрытия с ровной, сухой и чистой поверхностью (за исключением покрытий с избытком битума) обеспечивают достаточное сцепление шин автомобиля с поверхностью покрытия. При этом шероховатость поверхности покрытия не оказывает существенного влияния на сопротивление скольжению шин. На покрытиях с увлажнённой поверхностью степень сопротивления скольжению шин значительно снижается из-за наличия воды в зоне контакта шин с покрытием. Степень сопротивления скольжения оценивается коэффициентом сопротивления скольжению j (коэффициент сопротивления), представляющим собой отношение силы сопротивления скольжению к нормальной нагрузке на покрытие в зоне контакта шины с покрытием. Коэффициент сцепления на сухом и мокром асфальтобетонном покрытии имеет следующие значения:

Шероховатая поверхность:		Гладкая поверхность:	
сухая	0,7...0,9	сухая	0,4...0,6
мокрая	0,5...0,7	мокрая	0,3...0,4

При коэффициенте сцепления менее 0,4 покрытие становится недопустимо скользким и аварийность на нём резко увеличивается. Коэффициент сцепления 0,4...0,5 в большинстве случаев удовлетворяет требованиям безопасности движения. Повышение коэффициента сцепления достигается за счёт применения асфальтобетона поровой и контактно-

поровой структуры. Шероховатость обеспечивается при содержании щебня из труднополирующихся пород в количестве 50...65% в зернистых смесях и 35...55% зёрен крупнее 1,25 мм – песчаных на дроблёном песке из труднополирующихся пород, а также уменьшением до возможных пределов содержания минерального порошка (4...10% в зернистых смесях и 8...10% в песчаных). Общие зависимости между шероховатостью, качеством составляющих и составом асфальтобетонных смесей следующие: степень шероховатости покрытия пропорциональна острогранности и собственной шероховатости зёрен каменного материала; долговечность шероховатости тем больше, чем труднее шлифуется каменный материал, чем выше вязкость битума; чем больше дроблёных зёрен в смеси и чем меньше в ней минерального порошка, тем выше шероховатость.

8.2. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Свойства асфальтобетона и асфальтобетонных смесей должны соответствовать ГОСТ 9128–97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон». Зерновые составы и минеральные части смесей и асфальтобетонов должны соответствовать установленным в табл. 8.1 – для нижних слоёв покрытий и оснований; в табл. 8.2 – для верхних слоев покрытий. Показатели физико-механических свойств высокоплотных и плотных асфальтобетонов из горячих смесей, в зависимости от марок смесей и дорожно-климатической зоны, должны соответствовать указанным в табл. 8.3.

8.1. Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов для нижних слоёв покрытий и оснований в % по массе

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Размер зёрен, мм, мельче		
	5	0,63	0,071
Плотные типов:			
А	От 40 до 50	От 12 до 50	От 4 до 10
Б	От 50 до 60	От 20 до 60	От 6 до 12
Пористые	От 40 до 60	От 10 до 60	От 0 до 8
Высокопористые щебенистые	От 40 до 60	От 10 до 60	От 4 до 8
Высокопористые песчаные	От 90 до 100	От 25 до 85	От 4 до 10

**8.2. Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов
для верхних слоёв покрытий в процентах по массе**

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Размеры зерен, мм. мельче							0,315	0,14	0,071
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63			
Горячие										
высокоплотные	90...100	70...100	56...100	35...50	24...50	18...50	13...50	12...50	11...28	10...16
плотные типов:	<i>Непрерывные зерновые составы</i>									
А	90...100	75...100	62...100	40...50	28...38	20...28	14...20	10...16	6...12	4...10
Б	90...100	80...100	70...100	50...60	38...48	28...37	20...28	14...22	10...16	6...12
В	90...100	85...100	75...100	60...70	48...60	37...50	28...40	20...30	13...20	8...14
Г	–	–	–	80...100	65...82	45...65	30...50	20...36	15...25	8...16
Д	–	–	–	80...100	60...93	45...85	30...75	20...55	25...33	10...16
	<i>Прерывистые зерновые составы</i>									
А	90...100	75...85	62...70	40...50	28...50	20...50	14...50	10...28	6...16	4...10
Б	90...100	80...90	70...77	50...60	38...60	28...60	20...60	14...34	10...20	6...12
Холодные типов:										
Бх	90...100	85...100	70...100	50...60	33...46	21...38	15...30	10...22	9...16	8...12
Вх	90...100	85...100	75...100	60...70	48...60	38...50	30...40	23...32	17...24	12...17
Гх и Дх	–	–	–	80...100	62...82	40...68	25...55	18...43	14...30	12...20

8.3. Технические требования к асфальтобетону

Наименование показателя	Значение для асфальтобетонов марки								
	I			II			III		
	для дорожно-климатических зон								
	I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее для асфальтобетонов: высокоплотных плотных типов:	1,0	1,1	1,2	–	–	–	–	–	–
А	0,9	1,0	1,1	0,8	0,9	1,0	–	–	–
Б	1,0	1,2	1,3	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,1
В	–	–	–	1,1	1,2	1,3	1,0	1,1	1,2
Г	1,1	1,3	1,6	1,0	1,2	1,4	0,9	1,0	1,1
Д	–	–	–	1,1	1,3	1,5	1,0	1,1	1,2
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не менее	2,5	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0
Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не более	9,0	11,0	13,0	10,0	12,0	13,0	10,0	12,0	13,0
Водостойкость, не менее:									
плотных асфальтобетонов	0,95	0,90	0,85	0,90	0,85	0,80	0,85	0,75	0,70
высокоплотных асфальтобетонов	0,95	0,95	0,90	–	–	–	–	–	–
плотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении	0,90	0,85	0,75	0,85	0,75	0,70	0,75	0,65	0,60
высокоплотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении	0,95	0,90	0,85	–	–	–	–	–	–

Пористость минеральной части асфальтобетонов из горячих смесей должна быть, %, не более:

высокоплотных	16
плотных типов:	
А и Б	19
В, Г и Д	22
пористых	23
высокопористых щебенистых	24
высокопористых песчаных	28

Остаточная пористость является главным признаком правильно назначенного зернового состава, оптимального содержания битума и достаточного уплотнения. Остаточная пористость в нормативных пределах необходима, и отклонение от неё означает нарушение оптимальной структуры асфальтобетона.

Водонасыщение высокоплотных и плотных асфальтобетонов из горячих смесей должно соответствовать указанному в табл. 8.4.

Показатели физико-механических свойств пористых и высокопористых асфальтобетонов из горячих смесей, в зависимости от марок смесей, должны соответствовать указанным в табл. 8.5.

Водонасыщение пористых асфальтобетонов не должно быть более 12% по объёму, высокопористых – не более 18%. Набухание пористых и высокопористых асфальтобетонов из смесей I марки не должно быть более 1,0% по объёму, из смесей II марки – более 2% по объёму.

Водонасыщение ниже нормы указывает на чрезмерную жирность смесей, а повышенное водонасыщение является признаком сухой смеси.

Набухание больше нормативного предела указывает на повышенную гигроскопичность минерального порошка или битума или того и другого вместе. С повышенным набуханием обратной зависимостью связаны водостойкость и морозостойкость.

8.4. Остаточная пористость и водонасыщение высокоплотных и плотных асфальтобетонов

Наименование показателя	Значение для:	
	образцов, отформованных из смеси	вырубок и кернов готового покрытия, не более
Высокоплотные	От 1,0 до 2,5	3,0
Плотные типов:		
А	От 2,0 до 5,0	5,0
Б, В и Г	От 1,5 до 4,0	4,5
Д	От 1,0 до 4,0	4,0

8.5. Показатели пористых и высокопористых асфальтобетонов из горячих смесей

Наименование показателя	Значение для марки	
	I	II
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее	0,7	0,5
Водостойкость, не менее	0,7	0,6
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,6	0,5
Водонасыщение, % по объёму, не более для:		
пористых асфальтобетонов	Свыше 5,0 до 10,0	Свыше 5,0 до 10,0
высокопористых асфальтобетонов	Свыше 10,0 до 18,0	Свыше 10,0 до 18,0
Примечание. Для крупнозернистых асфальтобетонов предел прочности при сжатии при температуре 50 °С и водостойкость не нормируются.		

Нормативная прочность на сжатие при 20 и 50 °С для бескаркасных смесей характеризует сдвигоустойчивость асфальтобетона. Повышение прочности достигается увеличением вязкости битума и увеличением содержания минерального порошка. Однако то и другое приводит к увеличению хрупкости и снижению трещиностойкости асфальтобетона в покрытии.

В асфальтобетоне каркасной структуры признаком сдвигоустойчивости является правильно подобранный зерновой состав. Прочность при сжатии при 20 и 50 °С косвенно свидетельствует о когезии асфальтового вяжущего и способности смеси противостоять разрушающему воздействию воды.

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов из холодных смесей в зависимости от марок смесей должны соответствовать указанным в табл. 8.6.

В дорожных покрытиях резко изменяются свойства холодного асфальтобетона вследствие повышения вяжущих свойств жидких битумов под воздействием атмосферных факторов. Для оценки этих качественных изменений холодного асфальтобетона пользуются показателями предела прочности при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии (табл. 8.6). Длительность прогрева смеси устанавливают в зависимости от скорости загустевания битума.

8.6. Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов из холодных смесей

Наименование показателя	Значение для марки и типа			
	I		II	
	Б _х , В _х	Г _х	Б _х , В _х	Г _х , Д _х
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа, не менее:				
до подогрева:				
сухих	1,5	1,7	1,0	1,2
водонасыщенных	1,1	1,2	0,7	0,8
после длительного водонасыщения	0,8	0,9	0,5	0,6
после подогрева:				
водонасыщенных	1,6	1,8	1,0	1,2
после длительного водонасыщения	1,3	1,8	0,8	0,9

Температура горячих и холодных смесей при отгрузке потребителю и на склад в зависимости от показателей битумов должна соответствовать указанным в табл. 8.7.

8.7. Температура горячих и холодных смесей при отгрузке потребителю и на склад

Вид смеси	Температура смеси, °С, в зависимости от показателя битума						
	глубины проникновения иглы при 25 °С, мм					условной вязкости по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60 °С, с	
	40...60	61...90	91...130	131...200	201...300	70...130	131...200
Горячая	От 150 до 160	От 145 до 155	От 140 до 150	От 130 до 140	От 120 до 130	–	От 110 до 120
Холодная	–	–	–	–	–	От 80 до 100	От 100 до 120

Примечание. При использовании ПАВ или активированных минеральных порошков допускается снижать температуру горячих смесей на 20 °С.

Пористость минерального состава асфальтобетонов из холодных смесей типа БХ не должна быть более 18% по объему, типа ВХ – более 20%, типов ГХ и ДХ – более 21% по объёму. Остаточная пористость асфальтобетонов из холодных смесей должна быть 6...10% по объёму.

Водонасыщение асфальтобетонов из холодных смесей должно быть в пределах от 5...9% по объёму, а слеживаемость не должна превышать 10 по числу ударов. Смесей должны выдерживать испытание на сцепление битума с минеральной частью. При недостаточном сцеплении следует применять поверхностно-активные вещества (ПАВ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Битумные материалы – самые распространённые для кровельных и гидроизоляционных работ, имеют срок службы в среднем 10 – 15 лет. Для повышения их долговечности, а также для улучшения теплофизических, механических и других свойств используются различные методы: совершенствование технологии производства битумов, модификация битумов, пластификация битумов, а также их комбинации. В производстве практикуют смешение битумов; окисление расплавленного битума воздухом, окисление в присутствии хлорида железа или окиси фосфора; введение в битум модифицирующих добавок: наполнителей, пластификаторов, структурообразователей, синтетических полимеров и их смесей и др.

Таким образом, создаются композиционные битумные материалы, обеспечивающие требуемую долговечность для кровли и гидроизоляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гун, Р. Б.** Нефтяные битумы / Р. Б. Гун. – Москва : Химия, 1973. – 343 с.
2. **Горшенина, Г. И.** Полимербитумные изоляционные материалы / Г. И. Горшенина, Н. В. Михайлов. – Москва : Недра, 1967 – 210 с.
3. **Иванов, А. И.** Структурно-механические свойства различно окисленных битумов / А. И. Иванов, Н. В. Михайлов // Коллоидный журнал. – 1960. – Т. 22, № 2. – 176 с.
4. **Гун, Р. Б.** Производство нефтяных битумов / Р. Б. Гун, И. Л. Гуревич. – Москва : ГосИНТИ, 1960. – 360 с.
5. **Розенталь, Д. А.** Битумы. Получение и способы модификации / Д. А. Розенталь, В. Н. Березников, И. Н. Кудрявцева. – Ленинград, 1979. – 86 с.
6. **Ребиндер, П. А.** Физико-химическая механика / П. А. Ребиндер // В кн. Поверхностные явления в дисперсных системах. – Москва : Наука, 1979. – 382 с.
7. **Руденский, А. В.** Реологические свойства битумо-минеральных материалов / А. В. Руденский, И. Н. Руденская. – Москва : Высшая школа, 1971. – 131 с.
8. **Розенталь, Д. А.** Модификация свойств битума полимерными добавками / Д. А. Розенталь, Л. С. Таболина, В. А. Федосеева // В сб. «Переработка нефти». – Москва : ЦНИИТЭнефтехим, 1988. – № 6. – 49 с.
9. **Розенталь, Д. А.** Нефтяные окислительные битумы / Д. А. Розенталь. – Ленинград : ЛТИ, 1973 – 47 с.
10. **Мурузина, Е. В.** Битум – полимерные композиции кровельного назначения / Е. В. Мурузина : дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2000. – 219 с.
11. **Ядыкина, В. В.** О влиянии свойств поверхности дисперсных минеральных материалов и состава битума на их взаимодействие / В. В. Ядыкина // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. Спецвыпуск : материалы Междунар. конгр. «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии». – 2003. – № 5, Ч. 1. – 440 с.
12. **Кац, М. Н.** Структурообразование граничных слоев битума на поверхности минерального материала / М. Н. Кац : дис. ... канд. техн. наук. – Ленинград, 1987 – 180 с.
13. **Печеный, Б. Г.** Битумополимерные композиции / Б. Г. Печеный, В. Н. Каракуц, Б. Г. Теляшев, А. В. Дунаенко. – Москва : ЦНИИТЭнефтехим, 1992. – 89 с.
14. **Гузова, Э. С.** Основные свойства отходов содового производства, предопределяющие возможность их применения в качестве минерального порошка / Э. С. Гузова, Г. И. Коротких // Совершенствование техно-

логии, механизации и организации работ по строительству и ремонту городских дорог. – Москва, 1981. – Вып. 194. – С. 72 – 78.

15. **Ядыкина, В. В.** Влияние минерального порошка из пылевидных отходов на интенсивность старения битума в асфальтобетоне / В. В. Ядыкина, А. М. Гридчин, М. В. Ветров, Д. А. Кузнецов // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии : сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века». – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 2000. – Ч. 2. – 578 с.

16. **Шатов, А. А.** Применение отходов содовой промышленности в изготовлении асфальтобетонных и битумо-минеральных смесей / А. А. Шатов // Строительные материалы. – 1991. – № 7.

17. **Горетый, В. В.** Сераасфальтобетоны на местных заполнителях для ремонта автодорог / В. В. Горетый // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии : сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века». – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 2000. – Ч. 2. – 578 с.

18. **Печеный, Б. Г.** Битумы и битумные композиции / Б. Г. Печеный. – Москва : Химия, 1990. – 256 с.

19. **Гридчин, А. Н.** Влияние минерального порошка из отходов производства извести на свойства асфальтобетона / А. Н. Гридчин, В. В. Ядыкина, М. В. Ветров // ИВУЗ. Строительство. – 2000. – № 10.

20. **Менилитовые сланцы** как местное сырье для наполнителей битумных материалов / Л. И. Зельманович, С. М. Аксенова, А. М. Мороз, В. А. Никитин и др. // Строительные материалы. – 1987. – № 3.

21. **Гридчин, А. М.** Исследование физико-химических свойств модифицированной асфальтобетонной смеси в процессе ремонта покрытия в условиях повышенной влажности и возможных отрицательных температур / А. М. Гридчин, Л. С. Мартыненко, А. А. Колосов, Л. В. Похожай // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии : сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века». – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 2000. – Ч. 2. – 578 с.

22. **Гридчин, А. М.** Изучение физико-механических и противогололедных свойств асфальтобетона с солевыми добавками / А. М. Гридчин, Г. С. Духовный, А. Н. Котухов // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии : сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века». – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 2000. – Ч. 2. – 578 с.

23. **Изменение свойств** резинобитумных покровных композиций при длительной эксплуатации в атмосферных условиях юга / У. Р. Жаббаров и др. // Строительные материалы. – 1992. – № 6.

24. **О взаимосвязи дисперсионного состава** и физико-механических свойств резинобитумных мастик / А. Н. Паукку и др. // Строительные материалы. – 1989. – № 12.

25. **Андрианов, Р. А.** Композиционный пенопласт на основе битума и пенополистирола / Р. А. Андрианов, К. К. Гарипов // Строительные материалы. – 1985. – № 5.

26. **Битум-полимерные вяжущие** для асфальтобетонов / З. О. Сунгатова, Е. В. Мурузина, А. В. Мурафа и др. // Композиционные строительные материалы: Теория и практика : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2002. – Ч. II. – 354 с.

27. **Сунгатова, З. О.** Модифицированные битумные композиции строительного назначения / З. О. Сунгатова, Ю. Н. Хакимуллин, А. В. Мурафа, В. Г. Хозин // ИВУЗ. Строительство. – 2000. – № 2–3.

28. **Фомин, А. Ю.** Модификация нефтяных дорожных битумов олигомерами соединений серы / А. Ю. Фомин, Р. Т. Порфирьева, В. Г. Хозин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. Научно-теоретический журнал. Спецвыпуск : материалы Междунар. конгр. «Современные технологии в промышленности стройматериалов и стройиндустрии». – Белгород, 2003. – № 5, Ч. 1. – 440 с.

29. **Битумное вяжущее** для изготовления кровельной горячей мастики, модифицированное атактическим полипропиленом / А. В. Братчиков и др. // ИВУЗ. Строительство. – 1983. – № 3.

30. **Горелов, Ю. А.** Новые кровельные материалы отечественного производства / Ю. А. Горелов // Строительные материалы. – 2001. – № 3.

31. **Илиополов, С. К.** Повышение долговечности асфальтобетонных покрытий за счет модификации битумов / С. К. Илиополов, Е. В. Углова, И. В. Мардиросова // ИВУЗ. Строительство. – 1996. – № 7.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. КЛАССИФИКАЦИЯ, СОСТАВ И СТРОЕНИЕ БИТУМОВ	4
2. СВОЙСТВА БИТУМОВ	7
2.1. Физические свойства	7
2.2. Физико-химические свойства	9
2.3. Химические свойства	9
2.4. Физико-механические свойства	10
2.5. Свойства битумов, полученных различными способами	13
3. СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ БИТУМОВ	15
3.1. Повышение качества битумов путём совершенствования технологии производства битумов	15
3.2. Модификация битумов – как способ повышения их эксплуатационных свойств	16
3.3. Эксплуатационные свойства модифицированных битумов	17
4. ПРИМЕНЕНИЕ БИТУМОВ	33
5. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ	37
5.1. Влияние циклических температурно-влажностных воздейст- вий на прочностные характеристики битумных композиций	37
5.2. Адгезия битума к строительным материалам	38
5.3. Влияние количества АФО на температуру размягчения битума	40
5.4. Влияние жидких агрессивных сред на механическую проч- ность битумных композиций	41
6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БИТУМНЫХ МАТЕРИАЛОВ	45
7. КРОВЕЛЬНЫЕ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ	55
7.1. Влияние УФ-облучения на прочность и долговечность битумных кровель	55
7.2. Влияние жидких агрессивных сред на прочность и долговеч- ность битумных кровель	58
7.3. Влияние циклических температурно-влажностных воздейст- вий на механические характеристики битумной кровли	61
8. АСФАЛЬТОБЕТОНЫ	63
8.1. Структурно-механические свойства асфальтобетона	64
8.2. Нормативные требования к асфальтобетону	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	76

Учебное издание

ЯРЦЕВ Виктор Петрович,
ЕРОФЕЕВ Александр Владимирович

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИТОВ

Учебное пособие

Редактор Л. В. Комбарова
Инженер по компьютерному макетированию И. В. Евсева

ISBN 978-5-8265-1255-5



Подписано в печать 04.03.2014.
Формат 60 × 84 / 16. 4,65 усл. печ. л.
Тираж 50 экз. Заказ № 111

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел. 8(4752) 63-81-08
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru