

А.Н. Юндин

**БИТУМИНОЗНЫЕ
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**Ростов-на-Дону
2011**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Н. Юндин

БИТУМИНОЗНЫЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(3-е издание, исправленное и дополненное)

*Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Ростов-на-Дону
2011

УДК 691.16
Ю49

Рецензент: Е.М. Баранова (Северо-Кавказский филиал ООО «Инстрой-проект»)

Юндин А.Н.

Ю49 Битуминозные дорожно-строительные материалы: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 127 с.

Описаны дорожно-строительные материалы на основе органических вяжущих веществ. Рассматривается применение вязких и жидких нефтяных битумов, взаимодействие битума с минеральными материалами. Уделено внимание перевозке и хранению органических вяжущих материалов, анализируются основы технологии приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей.

Рассчитано на студентов, обучающихся по направлению «Строительство» очной и заочной форм обучения.

УДК 691.16

© Юндин А.Н., 2011
© Ростовский государственный
строительный университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Дорожно-строительные материалы составляют обширную группу материалов, объединенных по ряду признаков, определяющих возможность применения в конструктивных элементах дорожных одежд: основаниях, выравнивающих слоях, нижних и верхних слоях дорожных покрытий.

Выделение этих материалов в особую группу обусловлено требованиями, предъявляемыми к ним, которые диктуются специфическими условиями службы материалов в дорожных одеждах. К таким условиям следует отнести в первую очередь многократное насыщение водой, чередующееся воздействие отрицательных или положительных температур. Разрушительное влияние температурно-влажностных воздействий усугубляется механическими эксплуатационными факторами: динамическими нагрузками от проходящего транспорта, истиранием поверхностного слоя покрытия, сдвиговыми деформациями на участках торможения и разгона транспорта, деформациями земляного полотна. Немаловажное значение для надежности и долговечности дорожных асфальтобетонных покрытий имеет совместное воздействие солнечной радиации (ультрафиолетового ее спектра) и кислорода воздуха, являющееся одной из основных причин старения асфальтобетона.

Таким образом, дорожные материалы предназначены для службы в очень сложных условиях. Сочетание и интенсивность различных эксплуатационных факторов, воздействующих на них, также многообразны. В одних случаях преобладающими являются механические воздействия (например, дороги с интенсивным движением в районах с умеренным климатом), в других – климатические (например, дороги в северных или южных регионах России).

Отличаются также условия службы материалов в различных элементах дорожной одежды. Так, совершенно очевидно, что материалы, используемые для устройства оснований и нижних слоев двухслойных покрытий, эксплуатируются в менее жестких и более благоприятных условиях, чем материалы верхних слоев покрытий.

Все это требует разумного, базирующегося на научных знаниях подхода к выбору материалов для создания отдельных элементов дорожных одежд с обязательным учетом реальных условий их службы.

В силу высказанных выше соображений глубокое знание технологических принципов создания материалов, их структурообразования и свойств является одним из основных условий формирования грамотного инженера-дорожника. Невозможно построить автомобильную дорогу, отвечающую современным требованиям безопасности движения транспорта и способную в течение длительного периода сохранять свои эксплуатационные качества, без глубокого знания дорожно-строительных материалов.

В современном дорожном строительстве все более широкое применение находят местные материалы и техногенные отходы различных производств. Эта тенденция нарастает главным образом по двум причинам: во-первых, эти материалы дешевле привозных, так как не требуют больших затрат на их получение

и транспортирование к месту применения, а во-вторых, их запасы многократно превышают объемы производства стандартизированных материалов, что очень важно при развивающемся дорожном строительстве. Особенно актуальна проблема применения местных материалов и техногенных отходов для регионов, где производство высококачественных материалов недостаточно по разным причинам (отсутствие природного сырья, слабо развитая промышленная база и др.). В частности, одним из таких регионов является Ростовская область, где очень малы запасы природного камня для щебня и качественных песков, но в то же время практически не ограничены запасы горелых шахтных пород, сталелитейных шлаков, золошлаковых отходов и др. Поэтому одной из основных задач инженеров-дорожников является умение на основе глубоких знаний закономерностей структурообразования искусственных дорожно-строительных материалов, прогнозирования их свойств и поведения в тех или иных условиях эксплуатации создать с использованием местного сырья и техногенных отходов такие материалы, которые бы обеспечивали долговременную и надежную службу дорожных сооружений.

В дорожном строительстве применяются главным образом зернистые материалы в рыхлом (неконсолидированном) или связном (конгломератном) состоянии.

Рыхлые зернистые материалы, в которых минеральные зерна не скреплены каким-либо вяжущим (минеральным или органическим), применяют при устройстве оснований низкокатегорийных дорог. Для этой цели применяют гравийно-песчаные, гравийно-грунтовые и щебеночно-песчаные смеси.

Однако основную группу составляют конгломератные дорожно-строительные материалы, в которых минеральные зерна (щебня, гравия, песка или их смесей) скреплены каким-либо вяжущим, например, портландцементом, смесью извести с золой уноса или глиной, битуминозными вяжущими (битумами, дорожными эмульсиями).

Достижение требуемых свойств у этих материалов обеспечивается тщательным подбором их гранулометрического состава, выбором вида вяжущего и его активности.

В группу дорожно-строительных конгломератов входят:

- **асфальтобетоны**, получаемые надлежащим уплотнением смесей, состоящих из щебня (гравия), песка, минерального порошка и битума, взятых в расчетных соотношениях. К зернистым минеральным составляющим асфальтобетона предъявляют определенные требования по прочности, зерновому составу, морозостойкости, истираемости, загрязненности и др.;

- **битумогрунтовые**, получаемые путем обработки битумом или дегтем природных грунтовых, гравийных или песчаных материалов, не пригодных для получения из них асфальтобетонов;

- **щебеночно-песчаные и гравийно-песчаные смеси**, обработанные битумом иногда с добавлением минерального порошка, в силу нерациональной гранулометрии уступающие по свойствам асфальтобетонам;

– **черный щебень**, получаемый путем обработки органическим вяжущим однофракционного щебня;

– **битумные шламы (литые эмульсионно-минеральные смеси – ЛЭМС)**, представляющие собой смеси литой консистенции, состоящие из битумной пасты или эмульсии, воды, минерального порошка и песка (песчаные шламы), а в грубодисперсных – щебня;

– **минеральные материалы**, обработанные неорганическими вяжущими веществами: цементом, известью или смесями из неорганического и органического вяжущего.

Таким образом, создание искусственных конгломератов обеспечивается за счет применения в них в качестве цементирующего элемента неорганических (минеральных) или органических (битуминозных) вяжущих веществ.

1. Органические вяжущие вещества: определение, классификация, состав и строение

Под органическими вяжущими материалами в широком смысле понимают группу природных или искусственных веществ, состоящих из высокомолекулярных соединений и затвердевающих при определенных условиях. К ним относятся природные и синтетические смолы: эпоксидные, акриловые, пентафталевые, нитроцеллюлозные и др. Затвердевание этих смол, т.е. переход из вязкопластичного состояния в твердое, происходит либо за счет поликонденсации, либо за счет испарения разжижителя. Некоторые смолы (термопласты) приобретают прочность при остывании после их разогрева до вязкопластичного состояния.

К органическим вяжущим материалам относятся также дорожные битумы и дегти. Для удобства изложения текста под названием «органические вяжущие материалы» условимся понимать битумы и вяжущие на их основе, что не противоречит представлениям, бытующим у специалистов.

1.1. Определение и классификация

Органические вяжущие материалы – это группа природных или искусственных твердых, вязкопластичных или жидких веществ, состоящих из смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных (соединений углеводородов с серой, кислородом, азотом), изменяющих свои физико-механические свойства от воздействия температуры.

Органические вяжущие материалы в зависимости от вида исходного сырья и технологии получения подразделяются:

– на **нефтяные битумы**, получаемые в результате переработки нефти и ее смолистых остатков;

– **природные битумы**, встречающиеся в природе в чистом виде или извлекаемые из асфальтовых (битуминозных) горных пород (асфальтовых известняков, песчаников и др.);

– **сланцевые битумы**, образующиеся при термической переработке продуктов перегонки горючих (битуминозных) сланцев.

В зависимости от консистенции при обычных и повышенных температурах битумы и дегти подразделяются:

– на **твердые битумы**, являющиеся при температуре 20 – 25 °С упругими или хрупкими и переходящие в вязкотекучее состояние при нагревании до температуры 160 – 180 °С;

– **вязкие битумы**, обладающие при температуре 20 – 25 °С вязкими и пластичными свойствами, а при температуре 160 – 180 °С – подвижностью;

– **жидкие битумы**, представляющие собой при температуре 20 – 25 °С полужидкие материалы. Их применяют при температуре от 15 до 120 °С. Загустевание жидких битумов происходит за счет испарения из них летучих углеводородов, в результате чего они приобретают свойства, близкие к свойствам вязких битумов;

– **битумные эмульсии**, представляющие собой дисперсные системы, состоящие из битума и воды с добавлением эмульгатора для обеспечения их стабильности. При нормальной температуре эмульсии текучи. Применяют их при естественных положительных температурах, но не ниже 2 °С. При распределении по поверхности каменных материалов эмульсии распадаются с образованием обезвоженной водонепроницаемой пленки вяжущего.

1.2. Групповой состав органических вяжущих материалов

Органические вяжущие материалы представляют собой системы, состоящие из смесей различных ароматических C_nH_{2n-6} , нафтеновых C_nH_{2n} и метановых C_nH_{2n+2} относительно высокомолекулярных углеводородов, а также гетероциклических соединений, содержащих атомы кислорода, серы и азота. Поскольку элементарный состав органических вяжущих сложен и неоднороден, их удобнее характеризовать групповым составом, т. е. содержанием в них различных групп углеводородов.

В битумах выделяют следующие основные группы углеводородов:

масла.....	40 – 60 %;	карбены и карбоиды.....	1 – 3 %;
смолы.....	20 – 40 %;	асфальтогеновые кислоты и их ангидриды...	1 %;
асфальтены.....	15 – 30 %;	парафины.....	до 5 %.

Эти составляющие битумов, имеющие разный химический состав, обладают и разными свойствами. Входя в состав битумов в тех или иных количественных соотношениях, они делают их отличающимися по физико-механическим свойствам.

Ниже приводится краткая характеристика этих групп углеводородов.

Масла – вещества светло-желтого цвета, плотностью менее 1000 кг/м^3 . Молекулярная масса углеводородов, входящих в состав масел, составляет 300 – 800. Масла легко растворяются в бензине, придают битуму подвижность, текучесть и снижают температуру размягчения. Они относительно легко испаряются из битума, благодаря чему увеличивается его вязкость, уменьшается пластичность, повышается температура размягчения.

Смолы – вещества темно-коричневого цвета. Их плотность около 1000 кг/м^3 . Они состоят из более сложных углеводородов с молекулярной массой 600 – 2000. В смолах содержится основное количество сернистых, азотистых и кислородных соединений. В силу своей полярности (наличие групп COOH , OH , SH , NH_2) эти соединения обладают поверхностной активностью, благодаря чему хорошо прилипают к каменным и другим материалам, образуя на их поверхности плотные водоустойчивые пленки. Смолы хорошо растворяются в этиловом эфире, бензине, хлороформе. Они легкоплавки, обладают вязкопластичными свойствами и придают битумам растяжимость и эластичность.

Асфальтены – твердые неплавкие вещества. Плотность их несколько больше 1000 кг/м^3 , а молекулярная масса составляет 1000 – 6000. По химическому составу они близки к смолам и играют основную роль в структурообразовании битумов, растворимы в бензоле. От количественного содержания асфальтенов зависят такие свойства битумов, как вязкость и температура размягчения. Асфальтены являются продуктами конденсации смол, которая может происходить как с участием атомов серы и кислорода, так и без них.

Карбены и карбоиды встречаются в битумах сравнительно редко и в небольших количествах. При наличии их в битуме повышаются его вязкость и хрупкость. Карбены по составу и свойствам похожи на асфальтены, но содержат больше углерода, имеют большую плотность и более темный цвет. Они растворяются только в сероводороде.

Карбоиды – твердые вещества типа сажи, нерастворимые в органических растворителях.

Асфальтогеновые кислоты и их ангидриды – это вещества коричнево-серого цвета, густой маслянистой или смолистой консистенции. Плотность их более 1000 кг/м^3 . Они хорошо растворяются в спирте и хлороформе.

Асфальтогеновые кислоты и их ангидриды – наиболее полярные, а следовательно, и наиболее поверхностно-активные компоненты битума. Их содержание определяет в значительной мере прилипаемость битумов к каменным материалам, в особенности к основным карбонатным породам.

Парафины относятся к твердым метановым углеводородам. При содержании парафинов более 3,5 % ухудшаются дорожно-строительные свойства битумов: уменьшается растяжимость, повышается температура хрупкости и снижается температура размягчения.

Групповой состав битума не является стабильным. Под влиянием различных факторов (температура, окисление) групповой состав может претерпевать существенные изменения за счет частичного превращения масел в смолы, а

смол – в асфальтены. Такого рода изменения происходят, в частности, при разогреве битума в битумоплавильных котлах и во время приготовления асфальтобетонной смеси, а также в результате воздействия на битум атмосферных факторов: повышенных температур, солнечной радиации (в основном ультрафиолетовых лучей), кислорода воздуха. Эти изменения отражаются на основных свойствах битумов: вязкости, хрупкости, трещиностойкости.

Следует отметить, что превращение смол в асфальтены происходит быстрее, чем превращение масел в смолы. Таким образом, в процессе окисления в битумах происходит более интенсивное накопление асфальтенов.

Соотношения между основными группами, входящими в состав битума, определяют его важнейшие свойства: вязкость, восприимчивость к изменению температуры, хрупкость, эластичность.

1.3. Строение битумов

Согласно современным представлениям, битумы в физико-химическом отношении могут быть отнесены к дисперсным системам, в которых дисперсной фазой являются асфальтены с адсорбированной ими частью смол, а дисперсионной средой служат масла и легкие смолы. Такие системы называют мицеллярными. Рассмотрим структуру органических вяжущих веществ.

Битумная мицелла представляет собой систему, в которой асфальтеновое ядро ассоциировано более или менее прочно со смолами разной молекулярной массы, которые в свою очередь ассоциированы с маслами, являющимися дисперсионной средой (рис. 1). В вязких и твердых битумах мицеллы занимают

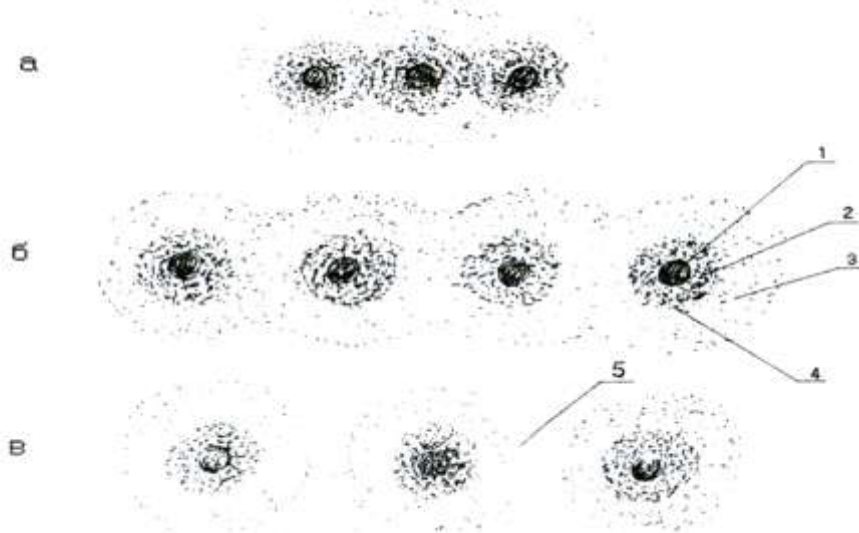


Рис. 1. Структура битума: а – твердого; б – вязкого; в – жидкого; 1 – асфальтеновое ядро; 2 – ассоциированный слой смолы; 3 – ассоциированный слой масла; 4 – условная граница раздела между смолой и маслом; 5 – неассоциированное (свободное) масло

большую часть объема системы и находятся в связанном неподвижном состоянии. В жидких битумах мицеллы не связаны между собой («раздвинуты») и мо-

гут свободно перемещаться в среде масла. Ввиду плавного и постепенного перехода от асфальтенового ядра к маслам в структуре мицеллы нет явно выраженных поверхностей раздела.

В зависимости от содержания и свойств компонентов (масел, смол, асфальтенов) могут образовываться различные дисперсные структуры: гель, золь и золь-гель.

Структура **гель** образуется при повышенном содержании в битуме асфальтенов и масел и пониженном – смол (асфальтенов – более 25 %, масел – более 50 %, смол – до 24 %). Соотношение асфальтены : масла + смолы в таких битумах более 0,35. Согласно принятой классификации, битумы с таким групповым составом относят к I структурному типу. В связи с большим содержанием асфальтенов в битумах этого типа мицеллы взаимодействуют одна с другой, образуя при этом пространственную решетку, которая придает упругие свойства материалу. Эта структура характерна для твердых битумов при нормальной температуре.

Структура **золь** характеризуется пониженным содержанием асфальтенов (менее 18 %), повышенным содержанием смол (36 %) и меньшим содержанием масел. Соотношение асфальтены : масла + смолы в битумах с такой структурой не превышает 0,22. Структура этого типа обусловлена прочностью связей среднемолекулярной составляющей битума – смолами и отсутствием структурных связей между асфальтенами. Битумы с такой структурой относятся ко II структурному типу. Это – жидкие битумы при нормальной температуре или вязкие битумы, разогретые до температуры перехода в жидкое состояние.

Структура **золь-гель** характерна для битумов III структурного типа. Она занимает промежуточное положение между структурами «гель» и «золь» и образуется при содержании асфальтенов 21 – 23 %, смол – 34 % и масел – 45 – 49 %. Отношение асфальтены : смолы + масла в таких битумах 0,25 – 0,30. Структура **золь-гель** характерна для вязких битумов при нормальной температуре, у которых одновременно проявляются вязкие и пластические свойства.

2. Вязкие нефтяные битумы

В зависимости от способа получения нефтяные битумы подразделяются на остаточные, окисленные, компаундированные и жидкие.

2.1. Остаточные битумы и асфальтосмолистые продукты перегонки нефти

Сырьем для производства нефтяных битумов является нефть – жидкое горючее ископаемое, представляющее собой смесь углеводородов и их соединений с кислородом, серой и азотом.

В зависимости от преобладающего содержания тех или иных групп углеводородов нефти подразделяются на метановые (C_nH_{2n+2}), нафтеновые (C_nH_{2n}),

ароматические (C_nH_{2n-6}). Встречаются и нефти смешанного состава: метано-нафтеновые и нафтенно-ароматические.

По содержанию смолистых веществ различают нефти высокосмолистые (более 20 %), смолистые (8 – 20 %), малосмолистые (6 – 8 %).

В зависимости от содержания твердых парафинов нефти бывают высокопарафиновые (более 6 %), парафиновые (1,5 – 6 %), малопарафиновые (менее 1,5 %).

Как уже отмечалось, парафины ухудшают свойства битумов, поэтому для их получения пригодны малопарафиновые разновидности нефти. Наибольший выход асфальтосмолистых веществ получается из высокосмолистых разновидностей нефти. Однако нефтеперерабатывающие заводы используют в основном более легкие нефти (смолистые и малосмолистые), содержащие значительно меньше асфальтосмолистых веществ, но обеспечивающие большой выход светлых нефтепродуктов – моторного топлива и смазочных материалов.

По способу получения различают два основных вида нефтяных дорожных битумов – **остаточные**, получаемые как остаточный продукт переработки нефти, и **окисленные**, получаемые в результате окисления остаточных продуктов переработки нефти.

На нефтеперегонных заводах сырая нефть перерабатывается с целью получения горюче-смазочных материалов: бензина, керосина, дизельного топлива, моторных и других масел. Для этого нефть подвергают фракционной разгонке в установках атмосферной или атмосферно-вакуумной перегонки. Широкое применение находит крекирование (крекинг-процесс) тяжелых остатков после разгонки нефти.

Фракционная разгонка нефти заключается в том, что при постепенном нагревании испаряются, а затем отдельно конденсируются различные фракции углеводородов. При этом из нефти в зависимости от температуры кипения выделяются: бензин, керосин, лигроин, дизтопливо, масла для двигателей. В виде остатка образуется **мазут**, перегоняющийся при температуре выше 330 – 350 °С. Для того чтобы выделить более высококипящие фракции, мазут подвергают перегонке при температуре выше 500 °С на установках, работающих с применением вакуума. В зависимости от смолистости нефти в результате атмосферно-вакуумной перегонки получают либо **гудрон**, либо **вязкий остаточный битум**.

Крекирование – химическое расщепление молекул тяжелой части нефти (мазута, гудрона), в результате которого образуются более легкие углеводороды и неустойчивые «осколки», способные к полимеризации с образованием тяжелых соединений – асфальтосмолистых веществ. Крекинг-процесс происходит при нагревании нефтепродуктов до 425 – 650 °С и давлении до 5 МПа. После фракционирования продуктов крекинга получают бензинокеросиновые продукты и крекинг-остаток, состоящий из асфальтенов, смол и тяжелых масел. Крекинг-остаток используют как остаточный **жидкий дорожный битум** марок МГ 40/70, МГ 70/130, а также в качестве сырья для изготовления вязких дорожных **крекинг-битумов**.

Свойства остаточных битумов в большой мере зависят от свойств нефти. Получение доброкачественных остаточных битумов, обладающих высокими дорожно-строительными свойствами, возможно только из наиболее пригодных для этой цели разновидностей нефти (высокосмолистых и малопарафиновых). Свойства остаточного битума зависят также от глубины отбора из нефти различных продуктов. Более глубокий отбор нефтепродуктов приводит к получению более вязких битумов. При менее глубоком отборе, характеризующимся тем, что в остаточном продукте остается больше масел, получается менее вязкий битум.

Асфальтосмолистые вещества получают также при **селективной очистке** масел и **обессмоливании гудрона**.

Селективная очистка масляного дистиллята осуществляется с помощью фенола, фурфурола или смеси фенола с креозолом. После регенерации (выпаривания с последующей конденсацией) растворителя из экстракта получают **жидкий** битум, который в дальнейшем используют как добавку к битумам деасфальтизации или к гудрону при получении **окисленных** битумов

Обессмоливание гудронов заключается в том, что масляные его составляющие разжижают пропаном. Смолы и асфальтены в пропане не растворяются, в связи с чем полученный раствор разделяется на два слоя – масляный и битумный. Масляную часть отделяют, а из битумной после регенерации пропана получают битум **деасфальтизации**, обладающий высокой вязкостью. В дальнейшем его смешивают с другими более жидкими нефтяными остатками при получении **компаундированных** битумов.

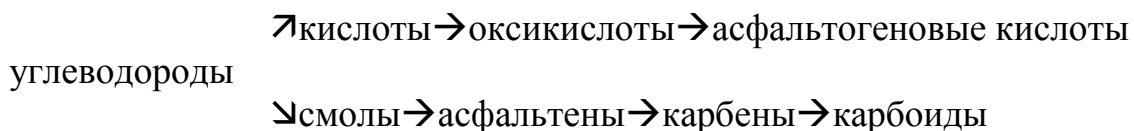
Таким образом, при переработке нефти с целью получения горюче-смазочных материалов всегда в остатке образуются смолистые вещества: мазут, гудрон, крекинг-остаток, экстракты селективной очистки, битумы деасфальтизации, которые используются либо в качестве готовых вяжущих, либо для получения компаундированных (смешанных) битумов, либо как основное сырье при производстве **окисленных** битумов.

2.2. Окисленные битумы

Окисленные битумы получают, пропуская воздух через гудрон, нагретый до 210 – 250 °С. В отличие от получения остаточных битумов при перегонке нефти, когда асфальтосмолистые компоненты почти не изменяются, при окислении происходят существенные изменения их качественного и количественного составов.

Сущность окислительного процесса заключается в том, что кислород воздуха реагирует с водородом углеводородов, образуя водяные пары. При этом соотношение С/Н в углеводородах повышается. Освободившиеся валентные связи углерода обуславливают полимеризацию молекул, что и приводит к загустеванию окисляемого сырья.

Нефтяные углеводороды окисляются одновременно в двух направлениях:



Основными факторами, влияющими на процесс окисления гудрона, являются исходная температура размягчения гудрона, а также температура и продолжительность окисления. Так, при повышении температуры окисления с 210 до 250 °С увеличиваются растяжимость и глубина проникания иглы пенетromетра, а свыше 250 °С – соответственно снижаются.

Качество окисленных битумов в значительной мере зависит от вида исходной нефти. Так, при окислении смолистых остатков из тяжелых (высокосмолистых) разновидностей нефти повышение вязкости происходит в основном за счет превращения смол в асфальтены. Превращение же масел в смолы при этом играет второстепенную роль. Получающиеся битумы отличаются повышенной вязкостью и эластичностью.

При окислении остатков из легких (смолистых и малосмолистых) разновидностей нефти смолы и асфальтены образуются главным образом из углеводородной (масляной) части сырья. Полученные при этом битумы характеризуются жесткостью и хрупкостью, что обусловлено большим содержанием в них карбенов и карбоидов и высококонденсированных структур типа асфальтенов.

Производственный процесс окисления гудронов довольно прост. Окислительная установка представляет собой несколько последовательно соединенных цилиндрических емкостей (кубов) вместимостью от 50 до 120 т каждая, в которые загружают предварительно разогретый до 170 – 260 °С гудрон. По перфорированным трубам, расположенным в нижней части кубов, под давлением 0,1 – 0,15 МПа подают воздух. В зависимости от качества исходного сырья, температуры и требуемой марки битума процесс окисления может продолжаться от 18 до 60 часов.

Для интенсификации процесса окисления применяют перемешивание или вспенивание гудрона. При этом значительно возрастает поверхность контакта сырья с кислородом, что позволяет сократить время пребывания смеси при высокой температуре и таким образом улучшить качество получаемого битума.

Находит применение и бескомпрессорный способ окисления гудрона. В этом случае смешивание гудрона с воздухом осуществляется с помощью диспергаторов, установленных в секциях реакторов. За счет быстрого вращения лопастей диспергаторов (от 480 до 960 об/мин) происходит засасывание и раздробление воздуха в гудроне, что способствует более качественному протеканию процесса окисления и получению битума с лучшими техническими характеристиками.

2.3. Компаундированные битумы

Способ смешения, или компаундирования, битумов находит широкое применение. Компаунд-битумы приготавливают либо на нефтеперерабатывающих заводах, либо на месте потребления. Необходимость приготовления

таких битумов вызвана тем, что зачастую битумы или смолистые остатки, полученные перегонкой, окислением, экстракцией или деасфальтизацией, не отвечают требованиям, предъявляемым к дорожным битумам. Смешивая битумы с другими смолистыми продуктами, можно получить вяжущее с необходимыми свойствами. Компаундированные битумы получают также смешиванием битумов разных марок.

При приготовлении компаундированных битумов очень важно, чтобы смешиваемые компоненты были близки по величине поверхностного натяжения. Равномерность смешивания проверяют по температуре размягчения смеси, которая должна соответствовать средневзвешенному значению температур размягчения составляющих компонентов. Методом смешения получают большинство жидких битумов.

Технология приготовления компаундированных битумов сводится к разогреву компонентов до жидкой консистенции и смешиванию. Получают компаунд-битумы следующими способами:

- смешиванием битума деасфальтизации с дистиллятами и остаточными экстрактами;
- смешиванием окисленного битума деасфальтизации с дистиллятным экстрактом;
- смешиванием битума с различными смолистыми остатками;
- смешиванием битумов разных марок с целью получения вяжущего с требуемыми свойствами.

2.4. Свойства вязких нефтяных битумов

Вязкие нефтяные битумы, применяемые в качестве вяжущих в асфальтобетонах и других битумно-минеральных материалах, должны отвечать следующим требованиям:

- хорошо объединяться с минеральными материалами, образуя при этом на их поверхности прочную и водоустойчивую пленку;
- обладать вязкостью, необходимой для обволакивания каменного материала в период смешивания и прочного связывания минеральных частиц в период эксплуатации;
- сохранять стабильность свойств в течение всего периода службы.

Свойства битумов обусловлены их химическим и групповым составом, способностью разжижаться при нагревании до определенных температур и восстанавливать свои первоначальные физико-механические характеристики при остывании.

Нагревание вязких битумов до температуры 100 °С и выше сопровождается переходом в вязкотекучее состояние, а при охлаждении до отрицательных температур – в твердое, хрупкое. Таким образом, механические свойства битумов (упругость, пластичность и др.) находятся в зависимости от температуры. В связи с определяющим влиянием температуры на физико-механические харак-

теристики битумов их оценка осуществляется при строго определенных температурах.

Стандартными методиками предусматривается определение следующих свойств вязких битумов: вязкость, растяжимость, температура размягчения, температура хрупкости, температура вспышки, сцепление с минеральными материалами и др.

Вязкость битумов (твердых, вязких) оценивают, согласно ГОСТ 11501, по глубине погружения иглы пенетрометра в образец битума при строго фиксированной температуре 25 и 0 °С. По названию прибора вязкость битума часто называют **пенетрацией**.

Прибор представляет собой штатив, на котором установлены два кронштейна, легко фиксируемых в нужном положении по вертикали (рис. 2). На верхнем кронштейне закреплен диск с рисками по периметру, расстояние между которыми равно 1 угловому градусу и соответствует перемещению иглы по вертикали 0,1 мм.

Измерение глубины погружения иглы осуществляется с помощью стрелки, приводимой во вращение кремальерой, расположенной с тыльной стороны диска. На нижнем кронштейне установлен плунжер, свободно перемещающийся при нажатом положении прижимной кнопки.

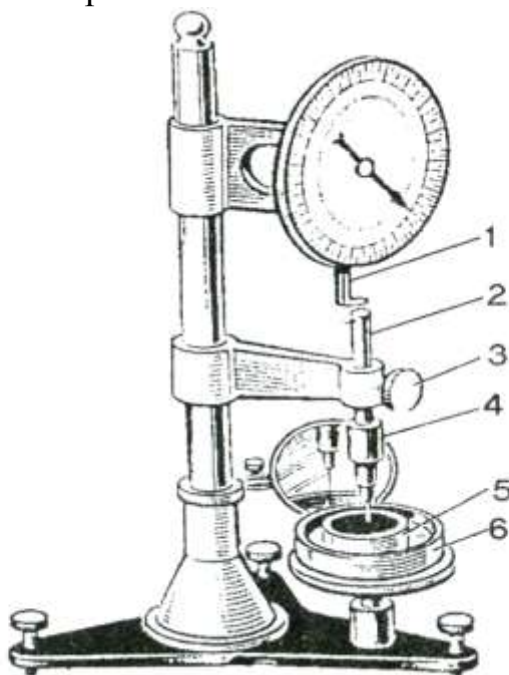


Рис. 2. Пенетрометр:

- 1 – кремальера; 2 – плунжер; 3 – прижимная кнопка; 4 – дополнительный груз;
5 – пенетрационная чашка с битумом; 6 – кристаллизатор

Определение вязкости битума проводят в следующем порядке. Битум, обезвоженный при температуре выше 160 °С, вливают в пенетрационную чашку и охлаждают до комнатной температуры. За 1,5 – 2 часа до испытания чашку с битумом помещают в кристаллизатор с водой, имеющей температуру 25 °С, либо 0 °С (вода с тающим снегом или льдом). Кристаллизатор с чашкой ставят

на столик прибора, подводят иглу до соприкосновения с поверхностью битума, опускают кремальеру до касания с плунжером и ставят стрелку в нулевое положение шкалы.

После этого одновременно включают секундомер и нажимают прижимную кнопку, давая игле погружаться в битум. При испытании битума при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ длительность погружения 5 с (масса плунжера с иглой 100 г), а при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 60 с (масса плунжера с иглой 200 г). Определение повторяют не менее 3 раз, опуская иглу в разных точках. Каждый раз после извлечения из битума иглу необходимо очистить от налипшего битума тканью, смоченной в керосине. За показатель пенетрации принимают среднее арифметическое этих измерений.

Температура размягчения, характеризующая термостойкость битума, определяется на приборе «кольцо и шар» (КиШ) по методике ГОСТ 11506 (рис. 3). Прибор представляет собой стеклянный стакан, в который наливают воду с температурой $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и устанавливают металлическую этажерку с двумя полками, расстояние между которыми равно одному дюйму (25,4 мм). Верхняя полка имеет четыре отверстия, над которыми устанавливают заполненные битумом латунные кольца со стальными шариками. По оси этажерки вставляют термометр со шкалой до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

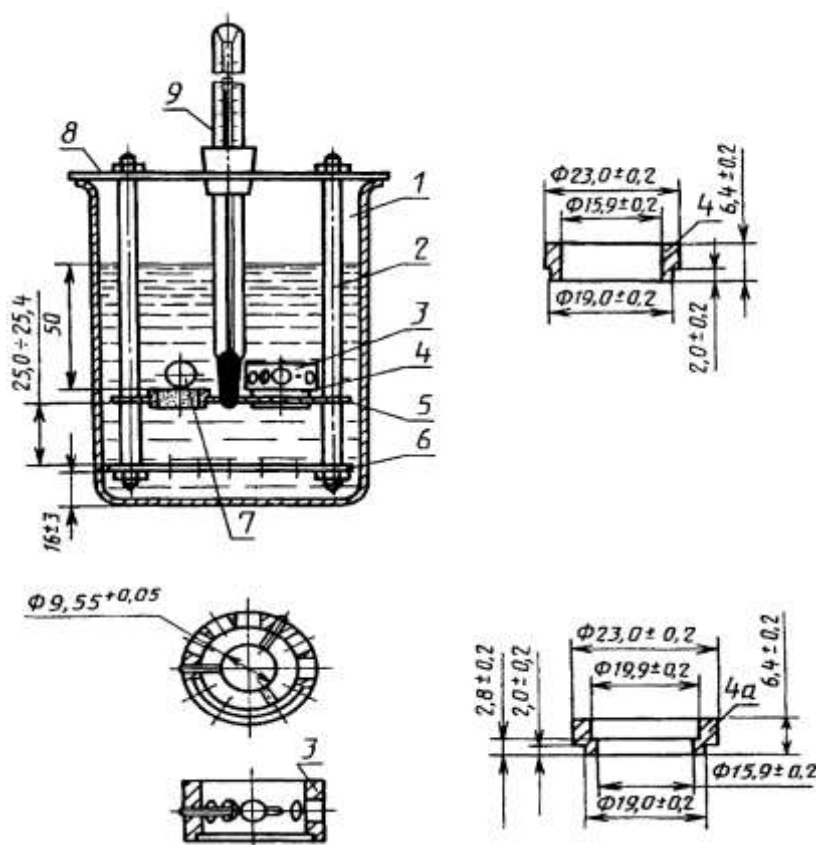


Рис. 3. Прибор «кольцо и шар»:

- а – прибор; б – кольцо с битумом и шариком до испытания;
- в – кольцо и шарик в момент размягчения битума;
- 1 – стакан; 2 – 4 – диски; 5 – термометр; 6 – стержни

Испытания проводят следующим образом. Обезвоженный и подогретый до подвижного состояния битум вливают с небольшим избытком в кольца (внутренний диаметр 15,7 мм, высота 6,5 мм), поставленные на металлическую или стеклянную пластину, покрытую смесью декстрина с глицерином (для исключения прилипания битума к пластинке). После остывания битума до комнатной температуры избыток его срезают нагретым ножом.

Заполненные вяжущим два кольца помещают в отверстия в верхней полке, а на поверхность битума в центре колец устанавливают стальные шарики диаметром 9,5 мм и массой 3,5 г. Этажерку опускают в стакан с водой, имеющей температуру 5 °С, и устанавливают термометр. На газовой горелке или электроплите воду в стакане нагревают со скоростью 5 °С/мин.

По мере нагрева и размягчения битума шарик продавливает его через кольцо. За температуру размягчения пробы битума принимают температуру, при которой размягченный битум касается нижней полки прибора. Среднее арифметическое двух определений принимают за температуру размягчения битума.

Показатели вязкости (пенетрации) и температуры размягчения являются характеристиками чувствительности битума к изменению температуры. На основании этих величин вычисляют **индекс пенетрации**:

$$\text{ИП} = \frac{30}{1 - 50A} - 10, \quad (1)$$

$$A = \frac{2,9031 - \log P}{(T_p - 25)},$$

где P – глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм;

T_p – температура размягчения, °С.

Индекс пенетрации вязких дорожных битумов изменяется в пределах от – 1,0 до +1,0. Чем больше значение индекса пенетрации, тем качественнее битум для дорожного строительства.

Температура хрупкости вязких битумов соответствует температуре, при которой они переходят из вязкопластичного состояния в хрупкое, т.е. разрушаются при незначительных деформациях.

Температуру хрупкости определяют на приборе Фрааса (рис. 4) по методике ГОСТ 11507. Прибор состоит из сосуда Дьюара, в который помещается пробирка с устройством для изгибания 3 стальных пластинок, покрытых тонкими пленками битума. В пространство между пробиркой и внутренней стенкой сосуда Дьюара, наполненное на 1/3 спиртом, подают охлаждающий агент с таким расчетом, чтобы температура в пробирке понижалась со скоростью около 1 °С/мин. Температуру в пробирке измеряют либо термометром, либо термопарой. По достижении температуры в пробирке примерно на 10 °С выше ожидаемой температуры хрупкости через каждую минуту в течение 20 – 25 с сгибают и разгибают стальные пластинки. Отмечают температуру, при которой появляется первая трещина на каждой пластинке. За температуру хрупкости принимают среднее арифметическое трех определений, расхождения между которыми

ми не должны превышать 3 °С. Температура хрупкости битума, так же как и температура размягчения, зависит от его группового состава и характера структуры. Большое негативное влияние на температуру хрупкости оказывает содержание в битуме парафина, который остается хрупким даже при положительных температурах.

Хрупкость битума, а следовательно, и хрупкость асфальтобетона отрицательно сказывается на свойствах дорожных покрытий: повышается склонность к образованию трещин, к деформациям и разрушениям, связанным с выкрашиванием покрытия. Чем ниже температура хрупкости, тем больше температурный интервал, в котором битум находится в вязкопластичном состоянии, а следовательно, тем лучше и его дорожно-эксплуатационные свойства.

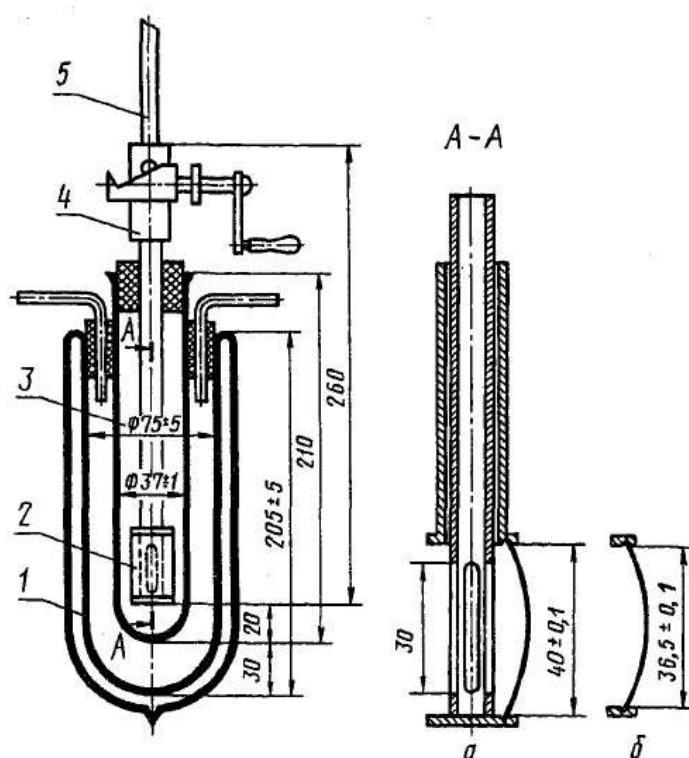


Рис. 4. Прибор Фрааса:

1 – термометр; 2 – устройство для сгибания пластинки; 3 – стальная пластинка;
4 – сосуд Дьюара; 5 – пробирка

В связи с тем, что температура хрупкости битумов зависит от их группового состава, содержания в них парафинов, карбенов и карбоидов, битумы могут сохранять свои вязкопластические свойства в различных температурных интервалах, называемых **температурными интервалами превращения**, или **температурными интервалами пластичности**.

Температурный интервал превращения определяется разностью температуры размягчения и хрупкости битума:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{р}} - T_{\text{хр}}, \quad (2)$$

где T_p – температура размягчения, °С; T_{xp} – температура хрупкости, °С.

Чем больше $T_{пр}$, тем выше качество битума.

Пластичность (растяжимость) битума, согласно ГОСТ 11505, характеризуется величиной его удлинения до разрыва при температуре 25 и 0 °С. Растяжимость определяют растягиванием образцов, имеющих форму «восьмерки» (рис. 5), на дуктилометре (рис. 6). По названию прибора это свойство битума называют **дуктильностью**.

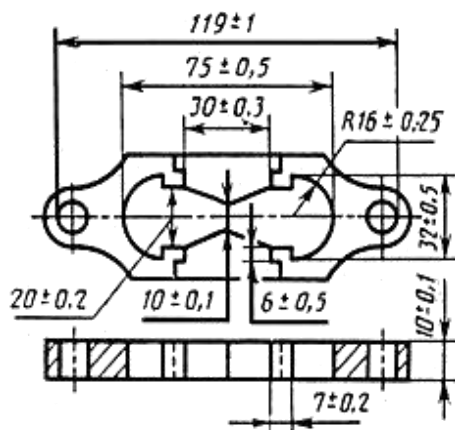


Рис. 5. Форма «восьмерка»

Образцы изготавливают заполнением расплавленным битумом предварительно собранных и смазанных смесью талька с глицерином латунных форм, установленных на металлических или стеклянных пластинках. После остывания битума формы помещают не менее чем на 1 час до испытания в воду с температурой, соответствующей температуре испытания (25 или 0 °С).

Дуктилометр представляет собой ванну, в которой имеются две каретки – подвижная и неподвижная. Скорость перемещения подвижной каретки вдоль ванны должна составлять 5 см/мин.

Определение растяжимости битума производят следующим образом. В ванну прибора наливают воду, имеющую температуру испытания битума, помещают в нее образцы, отделяют от них нижние пластинки и боковые стенки форм. Концевые части форм закрепляют на неподвижной и подвижной каретках прибора. По металлической линейке, расположенной вдоль ванны, отмечают начальное положение подвижной каретки. Затем включают привод вращения и наблюдают за образцами, растягивающимися в нить до разрыва. Удлинение (в см) к моменту разрыва фиксируют для каждого образца.

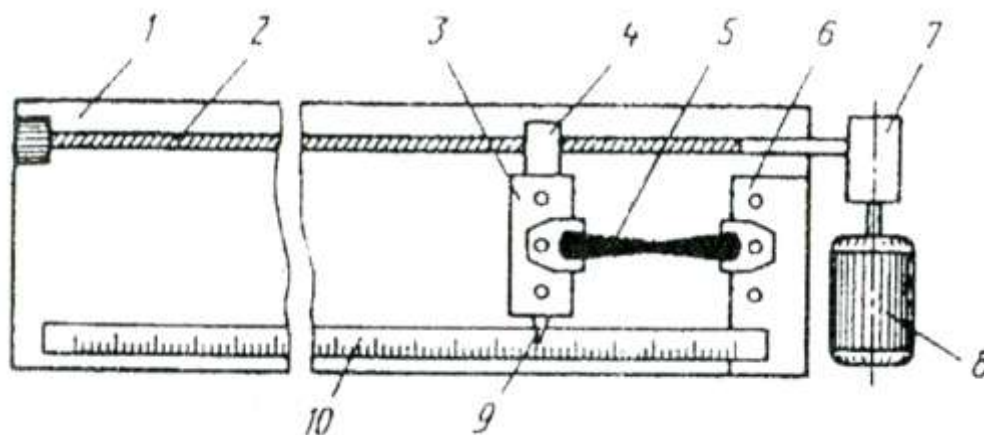


Рис. 6. Дуктилометр: 1 – ванна с водой; 2 – винт; 3 – салазки; 4 – гайка; 5 – образец битума; 6 – неподвижная опора; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель; 9 – стрелка; 10 – линейка

За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех параллельных определений.

Вязкие дорожные битумы имеют растяжимость при температуре 25 °С не менее 45 см, а при температуре 0 °С – не менее 3,5 см.

Температура вспышки характеризует пожаробезопасность при работе с битумом. Определение этого параметра заключается в установлении температуры, при которой пары, образующиеся при нагревании битума в открытом тигле, воспламеняются при контакте с источником огня.

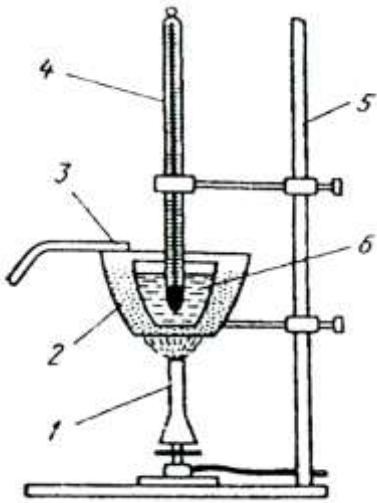


Рис.7. Прибор для определения температуры вспышки:
1 – газовая горелка; 2 – тигель с песком; 3 – зажигательное приспособление; 4 – термометр; 5 – штатив; 6 – тигель с битумом

Определение температуры вспышки проводят следующим образом. Битум обезвоживают, нагревают до подвижного состояния и наливают в тигель. В него же вставляют термометр со шкалой до 360 °С. Прибор (рис.7) подогревают со скоростью подъема температуры 10°С/мин. Когда температура битума будет на 40 – 50 °С ниже ожидаемой температуры вспышки, скорость подогрева

уменьшают до 4 – 5 °С/мин и через каждые 2 °С быстро подносят к поверхности битума зажженную спичку или язычок газового пламени. Температура, при которой испаряющиеся из битума газы воспламеняются и продолжают самостоятельно гореть в течение не менее 5 с, считается **температурой вспышки**. Опыт повторяют два раза и берут средний результат.

Температура вспышки вязких битумов в зависимости от их марок должна быть не ниже 220 – 230 °С.

Устойчивость при нагревании характеризует стабильность свойств битума при нагревании и является косвенной характеристикой его склонности к старению. Изменение свойств битума при нагревании обусловлено испарением из него части легких масел и процессами окисления и полимеризации, которые с повышением температуры вяжущего протекают более интенсивно.

Для определения этой характеристики пробу битума прогревают в течение 5 ч при температуре 160 °С (ГОСТ 18180), после чего определяют потерю массы и температуру размягчения остатка. Согласно требованиям ГОСТ 22245, разность температур размягчения исходного и прогретого битума в зависимости от его марки должна быть не более 5 – 7 °С.

Сцепление битума с каменными материалами является одной из важнейших его характеристик, определяющей прочность и долговечность битумо-минеральных материалов. Прочное сцепление битума с каменными материалами обусловлено его способностью смачивать их поверхность с образованием непрерывной битумной пленки и силами сцепления (адгезии) с минеральным

материалом. Как смачиваемость, так и адгезия в значительной мере зависят от содержания полярных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в битуме.

Полярность битума можно определить по отношению его растворимости в полярном и неполярном растворителях:

$$\alpha = \frac{A}{B} \times 100, \quad (3)$$

где α – коэффициент растворимости, %; A – растворимость битума в метило-вом спирте (полярном растворителе), %; B – то же, в бензоле (неполярном растворителе), %.

Это определение основано на том положении, что полярные вещества хорошо растворяются в полярных растворителях, а неполярные – в неполярных. Поэтому чем больше значение коэффициента α , тем больше в битуме полярных ПАВ, тем лучше он смачивает каменные материалы и прочнее с ними сцепляется. Коэффициент растворимости битумов в зависимости от их группового состава находится в пределах 5 – 35.

Смачиваемость минеральных материалов битумом определяют по краевому углу (углу смачивания), образуемому поверхностью минерального материала и касательной, проведенной к поверхности капли вяжущего в точке соприкосновения фаз (рис. 8).

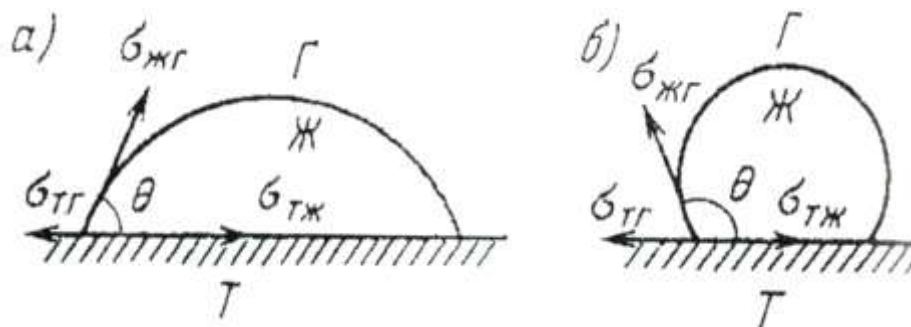


Рис. 8. Смачиваемость твердого тела жидкостью:
а – хорошая; б – плохая

Если краевой угол острый, то смачивание хорошее. В этом случае силы притяжения молекул битума поверхностью каменного материала (адгезия) превышают силы взаимного притяжения молекул углеводородов битума (когезия). Если же краевой угол тупой, силы притяжения молекул углеводородов битума минеральным материалом меньше сил взаимодействия между ними – смачивание плохое.

Прочность сцепления битума с поверхностью каменных материалов в значительной мере зависит от минералогического состава камня и в первую очередь от относительного содержания в нем основных (положительно заряженных) и кислых (отрицательно заряженных) минералов. Определенное влияние на прочность сцепления оказывают степень шероховатости и трещиновато-

сти минеральных частиц, а также содержание в битуме полярных поверхностно-активных соединений.

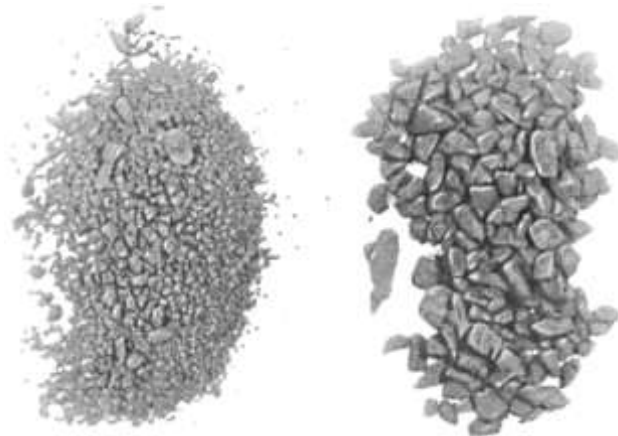
Оценка сцепления битума с каменными материалами основана на их способности удерживать битумную пленку при кипячении в воде (метод А – «пассивное» сцепление) или образовывать битумную пленку в присутствии воды (метод Б – «активное» сцепление).

Метод А заключается в том, что предварительно обработанные битумом при температуре 130 – 140 °С зерна белого мрамора (фракция 2 – 5 мм) или кварцевого (Вольского) песка подвергают в сетчатых корзинах кипячению в течение 30 мин в дистиллированной воде. После удаления всплывшего битума и охлаждения в воде обработанные смеси переносят на фильтровальную бумагу и сравнивают с фотографиями контрольных образцов (рис. 9).

Битум считают выдержавшим испытание на «пассивное» сцепление с мрамором или песком, если после испытания кипячением сцепляемость не менее двух параллельных образцов не хуже соответствующего контрольного образца. При этом пленка должна быть от светло-коричневого до черного цвета.

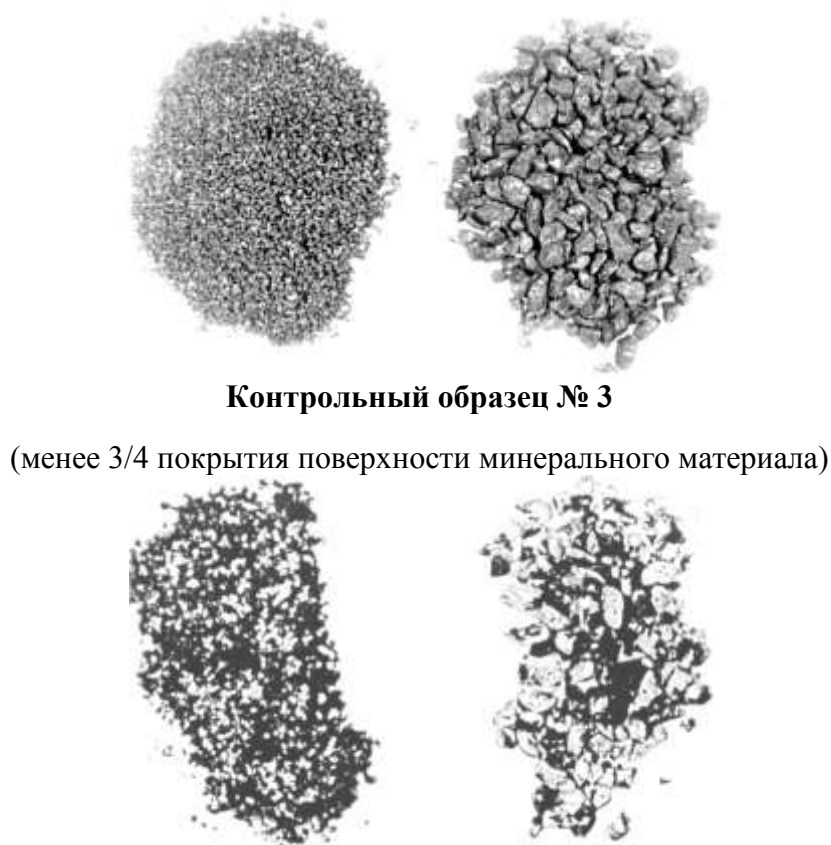
Контрольный образец № 1

(полное покрытие поверхности минерального материала)



Контрольный образец № 2

(не менее 3/4 покрытия поверхности минерального материала)



Контрольный образец № 3

(менее 3/4 покрытия поверхности минерального материала)

Рис. 9. Контрольные образцы битумоминеральных смесей: слева — смеси битума с песком; справа — смеси битума с мрамором

При испытании **по методу Б** в три стеклянные пробирки помещают по 8 г мрамора или песка (тех же, что и при испытании по методу А), 10 см^3 дистиллированной воды и 0,32 г битума. Каждую пробирку закрывают стеклянной пробкой, ставят на водяную баню и кипятят 10 мин, после чего накрывают кошмой и интенсивно встряхивают в течение 2 мин. После этого смеси из пробирок переносят на стеклянную пластинку и сравнивают с фотографиями контрольных образцов.

Битум считается выдержавшим испытания на «активное» сцепление, если сцепляемость не менее двух образцов не хуже соответствующего контрольного.

На практике часто бывает необходимо определение сцепления битума с конкретными минеральными материалами, примененными для приготовления асфальтобетонной смеси. С этой целью отвешивают 50 г асфальтобетонной смеси, приготовленной на заводе или в лаборатории, помещают ее на сетку и кипятят в течение 30 мин в 15 %-м растворе поваренной соли в дистиллированной воде. После охлаждения, промывки и сушки образец сравнивают с контрольной смесью, не подвергавшейся кипячению. Испытание битума на сцепление с минеральной частью асфальтобетона считается успешным, если после него вся поверхность минеральных материалов покрыта битумом.

Дорожные вязкие нефтяные битумы по своим физико-механическим свойствам должны отвечать требованиям ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные

дорожные вязкие. Технические условия». В табл.1 приведены важнейшие из этих требований.

Помимо битумов марок БНД в дорожном строительстве применяют битумы марок БН: БН 200/300; БН 130/200; БН 90/130 и БН 60/90, которые отличаются от битумов марок БНД главным образом меньшей пенетрацией при 0° С и более высокой температурой хрупкости. Таким образом, эти битумы имеют меньший температурный интервал пластичности (превращения).

Дорожные вязкие битумы применяют для приготовления горячих асфальтобетонных смесей, получения жидких битумов, дорожных битумных эмульсий различного назначения

. Таблица 1

Требования к вязким дорожным битумам

Показатель	Норма для битума марки								
	БНД 200/300	БНД 130/200	БНД 90/130	БНД 60/90	БНД 40/60	БН 200/300	БН 130/200	БН 90/130	БН 60/90
1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм: при 25 °С	201 – 300	131 – 200	91 – 130	61 – 90	40 – 60	201 – 300	131 – 200	91 – 130	60 – 90
при 0 °С, не менее	45	35	28	20	13	24	18	15	10
2. Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	35	40	43	47	51	33	38	41	45
3. Растяжимость, см, не менее: при 25 °С	–	70	65	55	45	–	80	80	70
при 0 °С	20	6,0	4,0	3,5	–	–	–	–	–
4. Температура хрупкости, °С, не выше	– 20	– 18	– 17	– 15	– 12	– 14	– 12	– 10	– 6
5. Температура вспышки, °С, не ниже	220	220	230	230	230	220	230	240	240
6. Изменение температуры раз- мягчения после прогрева, °С, не более	7	6	5	5	5	8	7	6	6
7. Индекс пенетрации	От – 1,0 до +1,0					От – 1,5 до +1,0			

Принятые в маркировке дорожных битумов обозначения: Б – битум, Н – нефтяной, Д – дорожный; над чертой и под чертой указаны минимальная и максимальная пенетрация при 25 °С.

2.5. Применение вязких нефтяных битумов

Вязкие нефтяные битумы применяют в качестве основного вяжущего при приготовлении асфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей, укладываемых при температуре не ниже 120 °С. Выбор марки дорожного вязкого битума для приготовления таких смесей производится с учетом категорийности дороги, дорожно-климатической зоны эксплуатации, вида асфальтобетона и марки асфальтобетонной смеси. Так, например, для получения плотного асфальтобетона, предназначенного для эксплуатации в I дорожно-климатической (северной) зоне, рекомендуется применять битумы марки БНД 90/130, БНД 130/200 и БНД 200/300. В IV дорожно-климатической зоне, характеризующейся более теплым климатом, рекомендуется применять для этой цели более вязкие битумы марок БНД 40/60 и БНД 60/90. Вязкие битумы применяют для получения жидких битумов (см. гл.3), а также при приготовлении дорожных битумных эмульсий (см. гл.7).

3. Жидкие нефтяные битумы

3.1. Получение жидких битумов

Жидкие нефтяные битумы отличаются вязкотекучим состоянием при нормальной температуре. Для лучшего объединения с минеральными материалами при перемешивании их предварительно подогревают до температуры 60 – 100 °С.

Жидкие битумы получают преимущественно компаундированием (смешиванием) вязкого битума с разжижителем в подогретом состоянии. Реже жидкие битумы получают в виде остатка от перегонки нефти (остаточные битумы).

Для приготовления жидких битумов используют дорожные нефтяные битумы с глубиной проникания иглы не более 90 – марок БНД 40/60 и БНД 60/90.

В качестве разжижителей применяют масляные и остаточные продукты переработки нефти, дегтевые и сланцевые масла и беспарафиновый мазут. При необходимости в состав жидкого битума вводят ПАВ анионактивного или катионактивного действия. Выбор вида добавки делается с учетом химической природы минерального материала. Если в каменном материале преобладают основные оксиды, то добавляют анионактивные ПАВ, если кислые – катионактивные.

Выбор разжижителя определяется необходимостью получения жидкого битума с требуемой скоростью загустевания. По этому показателю жидкие дорожные битумы подразделяют на два класса:

– **густеющие со средней скоростью (СГ)**, получаемые разжижением вязких битумов масляными разжижителями с температурой кипения не ниже 145 °С;

– **медленногустеющие (МГ)**, получаемые разжижением вязких битумов жидкими остаточными нефтепродуктами, например, гудроном, и получаемые из окисленных нефтепродуктов или их смесей (**МГО**).

Разжижители, используемые для приготовления жидких битумов, по фракционному составу должны отвечать следующим требованиям:

	СГ	МГ
Температура начала кипения, °С, не ниже	145	–
50 % перегоняется при температуре, °С, не выше	215	280
96 % перегоняется при температуре, °С, не выше	300	360

Количество разжижителя зависит от его вязкости и требуемой вязкости приготавливаемого вяжущего – чем ниже вязкость разжижителя, тем меньше его должно содержаться в жидком битуме определенной вязкости.

При приготовлении жидких битумов в открытой системе температура вязкого битума, поступающего на смешение с разжижителем, не должна превышать 120 °С. Перемешивание вязкого битума с разжижителем проводят инертным газом или циркуляцией при температуре от 70 до 100 °С.

3.2. Свойства жидких битумов

Строительно-технические свойства жидких дорожных битумов характеризуются:

- условной вязкостью;
- количеством испаряющегося разжижителя;
- температурой размягчения остатка после испарения разжижителя;
- температурой вспышки;
- сцеплением с мрамором или кварцевым песком.

Условная вязкость жидких битумов характеризуется временем в секундах, в течение которого 50 см³ битума при температуре 60 °С вытекает через отверстие диаметром 5 мм. Испытание проводят на стандартном вискозиметре (рис. 10).

Определение условной вязкости производят следующим образом. Обезвоженный и процеженный через сито жидкий битум нагревают до температуры 60 °С и заливают в стакан вискозиметра (отверстие доньшка закрыто пробкой). Температура воды в водяной бане автоматически поддерживается электронагревателем и должна быть не выше 65 °С. Вращающаяся крыльчатка, перемешивая воду, выравнивает температуру по всему ее объему и улучшает теплообмен между водой и битумом. Установив температуру битума равной 60 °С, быстро поднимают за штифт клапан. Когда уровень битума в мерном цилиндре достигнет метки 25 см³, включают секундомер, а в момент достижения метки 75 см³ его останавливают. Время истечения 50 см³ битума в секундах принимается за условную вязкость жидкого битума. Испытание повторяют и берут средний результат.

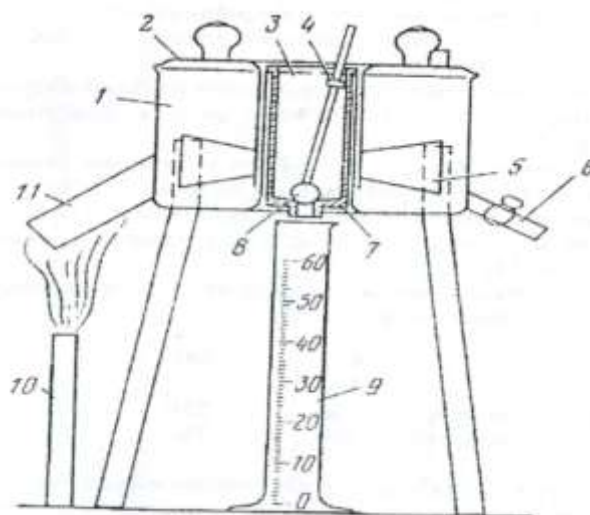


Рис. 10. Стандартный вискозиметр:

1 – водяная баня; 2 – крышка; 3 – стакан вискозиметра; 4 – штифт пробки; 5 – крыльчатка для перемешивания воды; 6 – кран; 7 – сменное доньшко с калиброванным отверстием; 8 – шарик пробки; 9 – мерный цилиндр

Количество испарившегося разжижителя при прогреве жидкого битума характеризует стабильность его свойств. Для оценки этого показателя битум обезвоживают и помещают в две предварительно взвешенные чашки с плоским дном диаметром 100 мм (чашки Петри) в таком количестве, чтобы после нагревания до 40 – 60 °С на дне чашек образовался слой битума толщиной 0,1 см. Затем чашки охлаждают, взвешивают и помещают в сушильный шкаф или вакуумтермостат, где выдерживают в условиях, указанных в табл. 2.

Таблица 2

Режимы испытания битума

Аппаратура	Класс битума	Время прогрева, ч	Температура прогрева, °С
Шкаф сушильный	СГ	3	100±1
	МГ	5	100±1
Вакуумтермостат (остаточное давление не более 30 мм рт. ст.)	СГ	2	100±1
	МГ	3	100±1

После прогрева чашки охлаждают и взвешивают. Вычисляют изменение массы битума после прогрева:

$$X = \frac{g - g_1}{g} \times 100 \%, \quad (4)$$

где g, g_1 – масса битума до и после прогрева, г.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение двух измерений при расхождении не более 1,5 %.

Температура размягчения остатка после определения количества испарившегося разжижителя определяется так же, как и для вязких битумов.

Температура вспышки жидкого битума определяется так же, как и вязкого битума.

Испытание на сцепление с мрамором и кварцевым песком определяют по методу Б («активное сцепление»). В отличие от испытания вязких битумов в данном случае смесь минерального материала, жидкого битума и воды выдерживают в водяной бане в течение 10 мин при температуре 55 – 60 °С. При определении сцепления жидкого битума в асфальтобетонной смеси применяется та же методика, что и для вязких битумов. Отличие состоит в том, что продолжительность кипячения проб асфальтобетонной смеси составляет 10 мин (вместо 30 мин для вязких битумов).

Жидкие дорожные битумы по своим свойствам должны удовлетворять определенным требованиям (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Требования к свойствам среднегустеющих жидких битумов (ГОСТ 11955-84)

Наименование показателя	Норма для марок		
	СГ 40/70	СГ 70/130	СГ 130/200
Условная вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60 °С, с	40 – 70	71 – 130	131 – 200
Количество испарившегося разжижителя, %, не менее	10	8	7
Температура размягчения остатка после испарения разжижителя, °С, не ниже	37	39	39
Температура вспышки, определенная в открытом тигле, °С, не ниже	45	50	60
Испытание на сцепление с мрамором и песком	Выдерживают в соответствии с контрольным образцом № 2		

Таблица 4

Требования к свойствам медленногустеющих жидких битумов (ГОСТ 11955-84)

Наименование показателя	Норма для марок		
	<u>МГ 40/70</u> МГО 40/70	<u>МГ 70/130</u> МГО 70/130	<u>МГ 130/200</u> МГО 130/200
Условная вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60 °С, с	40 – 70	71 – 130	131 – 200
Количество испарившегося разжижителя, %, не менее	8/0	7/0	5/0
Температура размягчения остатка после испарения разжижителя, °С, не ниже	28/ –	29/ –	30/ –
Температура вспышки, определенная в открытом тигле, °С, не ниже	100/120	110/160	110/180
Испытание на сцепление с мрамором и песком	Выдерживают в соответствии с контрольным образцом № 2		

Подогрев жидких битумов перед применением следует проводить при помощи пара. При хорошей изоляции нагревательных элементов допускается использовать электропрогрев.

Слив, налив и применение жидких битумов соответствующих марок осуществляются при следующих температурах нагревания:

- от 70 до 80 °С – для СГ 40/70 и МГ 40/70;
- от 80 до 90 °С – для СГ 70/130 и МГ 70/130;
- от 90 до 100 °С – для СГ 130/200, МГ 130/200, МГО 40/70, МГО 70/130, МГ 130/200.

3.3. Применение жидких битумов

Жидкие битумы для улучшения смешиваемости с зернистыми материалами или равномерного разлива при поверхностной обработке показателей предварительно подогревают до рабочих температур. Подогрев необходим также при наливке битума в емкости или сливе из них.

При смешивании жидких битумов с минеральными материалами происходит их распределение по поверхности твердых частиц с образованием сплошных тонких пленок. При этом изменяется групповой состав битума за счет частичного адсорбирования поверхностью и порами каменного материала наиболее легкой фракции – разжижителя. В дальнейшем загустевание жидкого битума происходит вследствие продолжающегося испарения легколетучих фракций, окисления кислородом воздуха углеводородов и их полимеризации. В результате этих процессов жидкий битум по своим физико-механическим свойствам постепенно приближается к свойствам вязкого, не достигая, однако, их.

Скорость загустевания жидких битумов в решающей степени зависит от погодных условий: температуры и влажности воздуха, скорости ветра, интенсивности солнечной радиации.

Жидкие битумы применяют:

- для приготовления холодных асфальтобетонных смесей – все классы битумов (СГ, МГ и МГО) марок 70/130 и 130/200;
- обеспыливания и предварительной обработки дорожных покрытий, обработки грунтовых, гравийных и щебеночных смесей холодным способом на полотне дороги – марки 40/70 и 70/130;
- поверхностной обработки дорожных покрытий с целью восстановления изношенного слоя.

4. Природные и сланцевые битумы

4.1. Природные битумы

Природные битумы образовались из нефти в водных пластах земной коры в результате испарения из нее легких и средних фракций и процессов окисления и полимеризации. Они подразделяются на **твердые** (асфальтиты), **вязкие** (мальты) и **жидкие**, извлекаемые из битуминозных горных пород – битуминозных известняков, песчаников и песков (киров). К жидким природным битумам можно отнести тяжелые (высокосмолистые) разновидности нефти.

В зависимости от условий залегания месторождения природных битумов подразделяются:

- на **пластовые** – битуминозные известняки, доломиты, песчаники, содержание битума в которых составляет от 5 до 20 %;
- **жильные** – битум с незначительным содержанием минеральных примесей;
- **поверхностные** – битум залегает на поверхности.

Твердые и вязкие битумы, извлекаемые из битуминозных пород в чистом виде, добывают в сравнительно небольших количествах и применяют в производстве лаков, кровельных и гидроизоляционных материалов.

Вязкие природные битумы по качеству не уступают нефтяным, а нередко превосходят их. Групповой состав битумов, извлекаемых из битуминозных пород, характеризуется повышенным содержанием асфальтенов (40 – 70 %) и меньшим – смол и масел (соответственно 20 – 30 и 10 – 30 %). В связи с повышенным содержанием окисленных углеводородов (асфальтогеновых кислот и др.) природные битумы лучше, чем нефтяные, прилипают к каменным материалам.

Извлечение битумов из битуминозных пород целесообразно лишь в тех случаях, когда их содержание в породах составляет не менее 10 – 15 %.

Наиболее простым и экономичным способом извлечения битума из битуминозных пород является выварка в воде. Дробленую до крупности 6 – 8 мм породу загружают в котел с водой, подкисленной соляной кислотой (для повышения температуры кипения). Воду в котле нагревают до кипения, непрерывно перемешивая. Битум при этом размягчается, отделяется от породы и всплывает в виде пены на поверхность. Всплывший битум собирают и переводят в отстойник, где из него выделяются вода и минеральные примеси.

Битуминозные (асфальтовые) породы без извлечения битума перерабатывают также для получения асфальтовых материалов (асфальтового порошка и асфальтовой мастики). Для получения этих материалов с нужными свойствами в тонкоизмельченные битуминозные породы добавляют жидкий битум и минеральный порошок.

Одним из распространенных способов приготовления битумно-минеральных смесей является перемешивание при температуре 90 – 120 °С киров (битуминозных песков) с минеральными заполнителями (щебнем, гравием,

песком, высевами). Вводят их в количествах, обеспечивающих оптимальность гранулометрического состава минеральной части композиции. Если органическая часть маловязкая, в композицию добавляют вязкий нефтяной битум, а если высоковязкая – сырую нефть. Такую смесь применяют только при строительстве дорог низкой категории с малой интенсивностью движения.

4.2. Сланцевые битумы

Сланцевые битумы (их также называют сланцевыми дегтями) – это органические вяжущие материалы, получаемые при нагревании горючих сланцев без доступа воздуха.

При нагревании горючих сланцев до 550 °С из них выделяется газ, низкотемпературная смола (15 – 25 % от массы сланца) и полукокс. Затем низкотемпературную смолу разделяют перегонкой при температурах от 300 до 325 °С на легкие фракции (бензин, дизтопливо) и **мазут**. Этот продукт, составляющий около 60 % массы перегоняемой смолы, используют для получения **окисленного битума** или применяют как **жидкий сланцевый битум**.

Сланцевые битумы характеризуются повышенной растяжимостью при 25 °С (более 100 см). По своим эксплуатационным свойствам они уступают нефтяным битумам: в большей мере подвержены изменениям свойств при нагревании и менее погодоустойчивы. Их используют, так же как и нефтяные битумы, и применяют для получения компаундированных битумов.

5. Взаимодействие битума с минеральными материалами

Взаимодействие битума с минеральными материалами является решающим фактором структурообразования асфальтобетона и других битумо-минеральных композиций. С особенностями этого взаимодействия тесно связаны важнейшие свойства асфальтобетона и других материалов: прочность в широком интервале температур, долговечность, интенсивность старения и др.

Под взаимодействием органических вяжущих и минеральных материалов следует понимать весь комплекс процессов, происходящих как на стадии смешивания, так и при длительном их контакте. К ним относятся:

- физическая адсорбция минеральной поверхностью слоя битума (дегтя);
- хемосорбционные процессы, протекающие на границе раздела «вяжущее – минеральный материал»;
- избирательная диффузия компонентов вяжущего в минеральный материал, вследствие которой могут существенно изменяться свойства адсорбированного вяжущего.

Физическая адсорбция, происходящая под влиянием физических (ван-дер-ваальсовых) сил притяжения, приводит к образованию на каменной подкладке ориентированных слоев вяжущего. При этом никаких химических изменений в абсорбированном слое вяжущего не происходит. При физической ад-

сорбции могут образовываться адсорбционные слои толщиной в несколько молекул.

Физическая адсорбция происходит в результате электрического взаимодействия полярных углеводородов вяжущего с поверхностным электрическим слоем минерального материала. Полярные углеводороды битумов (асфальто-геновые кислоты, неметаллические соединения углеводородов) заряжены отрицательно и сосредоточены в тяжелой их фракции – смолах. Минеральные материалы могут иметь на своей поверхности как положительный электрический заряд (основные материалы – известняки, доломиты, основные шлаки и др.), так и отрицательный (кварциты, кислые граниты, кварцевый песок и др.). Поэтому битумы, содержащие в своем составе отрицательно заряженные полярные вещества, хорошо адсорбируются на поверхности основных минеральных материалов и плохо – на поверхности кислых материалов. Так как большинство минеральных материалов имеют в своем составе как основные (CaO , MgO и др.), так и кислые (SiO_2 , Al_2O_3 и др.) оксиды, фактическая напряженность поверхностного электрического слоя может изменяться в широком диапазоне.

Степень физического взаимодействия зависит также от содержания полярных углеводородов в битуме – чем их больше, тем сильнее взаимодействие. В результате взаимодействия битума с минеральным материалом формируются адсорбционные слои битума (рис.11), плотность и вязкость которых имеют наивысшее значение непосредственно у поверхности раздела «битум – минеральный материал». По мере удаления от этой границы вязкость и плотность битума убывают и достигают минимальных значений в зоне перехода структурированного битума в свободный (объемный) битум.

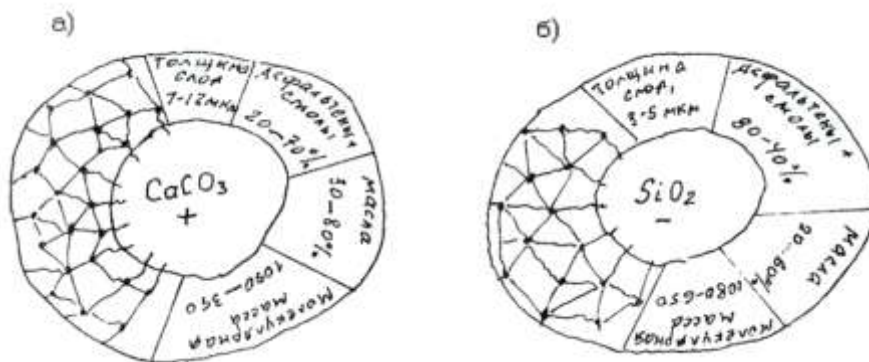


Рис.11. Схема адсорбционных слоев битума:
а – на зернах известняка; б – на зернах кварца

Если частицы связаны между собой по структурированным оболочкам битума, то достигается наиболее прочное сцепление между ними. Если же между структурированными оболочками находится свободный битум, то силы сцепления между частицами обусловлены уже не свойствами структурированного битума, а только объемного, характеризующегося меньшей вязкостью и плотностью.

Если соприкасающиеся вяжущее и минеральный материал образуют химические соединения, то происходит химическая адсорбция – **хемосорбция**. В ней принимает участие лишь один слой молекул адсорбированного вяжущего. При наличии химических связей (т.е. при хемосорбции) достигается наибольшее сцепление вяжущего с минеральным материалом.

Хемосорбционные процессы имеют место при объединении основных минеральных материалов (известняков, доломитов и др.) с активными битумами, содержащими достаточное количество ПАВ кислого характера (асфальтогеновые кислоты), способных образовывать в зоне контакта битума с минеральным материалом новые химические соединения.

При объединении битума с кислыми минеральными материалами (кварциты, кислые граниты, кварцевый песок и др.) хемосорбции не происходит. Поэтому прочность сцепления битума с поверхностью минеральных частиц в этом случае хуже, особенно в присутствии воды. Для улучшения сцепления битума с кислыми материалами в его состав вводят катионактивные ПАВ.

При соприкосновении битума с минеральными материалами могут происходить и другие сорбционные процессы, связанные с проникновением некоторых компонентов битума в поры и трещины каменного материала.

Микропоры отличаются высокой адсорбционной активностью, благодаря чему в них сорбируется значительная часть поверхностно-активных компонентов битума. Установлено, что асфальтены адсорбируются на поверхности минеральных частиц, смолы – в мелких порах, находящихся на поверхности частиц, а наименее вязкий компонент битума – масла – может проникать по капиллярам внутрь материала. Такой характер адсорбирования компонентов битума называется **избирательной диффузией**.

Таким образом, при обработке каменных материалов битумом изменяется его групповой состав в непосредственной близости к поверхности частиц: значительное количество смол концентрируется в поверхностных порах, а часть масел проникает внутрь материала. Этот процесс, начинающийся во время объединения битума и минерального материала при смешивании, продолжается затем в битумно-минеральных композициях (асфальтобетоне, битумно-грунтовых смесях и др.) длительное время. Вследствие обеднения адсорбционного слоя битума маслами и смолами и увеличения концентрации асфальтенов вязкость битума в поверхностном слое возрастает.

При обработке битумом плотных минеральных материалов (плотных известняков, кварцитов и др.) в связи с отсутствием поверхностных пор и капилляров сорбционные процессы менее выражены, имеет место главным образом проникновение компонентов битума (прежде всего – масел) в микротрещины. Поэтому такие материалы сорбируют битум без заметного изменения его свойств.

6. Модифицирование органических вяжущих материалов

6.1. Классификация модифицирующих добавок

В технологии производства битумоминеральных композиций широкое применение находят различные добавки, позволяющие улучшить свойства вяжущего и его взаимодействие с минеральными материалами. По функциональному признаку они подразделяются:

- на разжижающие;
- пластифицирующие;
- модифицирующие;
- композиционные;
- улучшающие прилипание вяжущего к каменным материалам.

Разжижающие добавки предназначены для понижения вязкости вяжущих до значений, обеспечивающих хорошее их смешивание с минеральными материалами. В качестве разжижающих добавок применяют керосин, нефть, масляные дистилляты, мазут, антраценовое масло и др. При выборе разжижающей добавки необходимо учитывать групповой и химический состав как разжижаемого вяжущего, так и разжижителя: чем ближе их составы, тем однороднее и стабильнее будет их смесь.

Разжижающие добавки должны обладать определенной испаряемостью, так как они вводятся в вязкие вяжущие с целью понижения их вязкости на стадии объединения с минеральными материалами и уплотнения приготовленных смесей. После этого разжижители должны в возможно короткий срок испаряться, возвращая таким образом исходному вязкому вяжущему его первоначальные свойства.

Пластифицирующие добавки вводят в состав органических вяжущих для уменьшения их хрупкости при пониженных температурах, а также придания им пластичности как на стадии смешивания с минеральными материалами, так и после завершения формирования структуры битумо- и дегтеминеральных композиций. В связи с этим пластифицирующие добавки должны отвечать двум основным требованиям: обладать хорошей растворимостью в исходном вяжущем и плохой испаряемостью из него.

В качестве пластифицирующих добавок чаще всего применяют мазут, гудрон, антраценовое масло, являющиеся одновременно и разжижителями.

Композиционные добавки вводятся в состав вяжущих с целью повышения их теплоустойчивости и прочности. Это – тонкодисперсные минеральные материалы порошкообразного или волокнистого вида. Порошкообразные материалы называют **минеральными порошками**. Они обладают большой удельной поверхностью (до 3000 – 5000 см²/г), при смешивании с вяжущим значительную его долю переводят из объемного в структурированное состояние, что

положительно отражается на свойствах вяжущего: увеличиваются его вязкость, прочность и теплоустойчивость.

В качестве порошкообразных добавок используют молотые известняки, доломиты, металлургические шлаки, золы уноса от сжигания низкосортных углей и др.

Волокнистые наполнители при смешивании с вяжущим наряду со структурированием армируют его, за счет чего не только повышаются его вязкость, прочность и теплоустойчивость, но и в значительной мере увеличивается трещиностойкость, что очень важно для композиций, используемых в дорожных покрытиях.

Волокнистыми добавками являются низкосортный (коротковолокнистый) асбест, минеральные и синтетические волокна, отходы текстильной промышленности и др. Следует отметить, что применение волокнистых добавок сопряжено с определенными технологическими трудностями, обусловленными тем, что при смешивании с вяжущим волокнистая добавка часто комкуется и поэтому неравномерно распределяется в объеме вяжущего. Однако этот недостаток волокнистых добавок может быть преодолен правильным сочетанием дозировки волокон, их длины и вязкости вяжущего на стадии смешивания.

Добавки, улучшающие адгезию (прилипание) вяжущего к каменным материалам. В эту группу входят ПАВ.

В общем случае под адгезией понимается межфазное взаимодействие между контактирующими поверхностями конденсированных (твердых) тел разной природы. Адгезия обеспечивает между двумя телами соединение определенной прочности благодаря физическим и химическим молекулярным силам. Лучшая адгезионная связь достигается в том случае, когда одно из взаимодействующих веществ является жидкостью или находится в жидком состоянии в момент соединения. Поэтому органические вяжущие вещества перед смешиванием с минеральными материалами переводят в жидкое состояние путем расплавления или разжижения.

В основе физического взаимодействия между каменными материалами и органическими вяжущими лежит возникновение двойного электрического слоя на границе раздела фаз, который образуется в связи с тем, что, с одной стороны, все каменные материалы на своей поверхности имеют электрический заряд, а с другой – в органических вяжущих имеются полярные компоненты, также обладающие определенным зарядом. В битумах – это асфальтогеновые и карбоновые кислоты и их ангидриды.

Знак электрического заряда на поверхности минеральных материалов зависит от их химического состава: большинство карбонатных пород (известняки, доломиты) имеют положительный заряд, а кислых (граниты, кварциты и др.) – отрицательный. В момент, когда вяжущее вступает в непосредственный контакт с минеральным материалом, его полярные компоненты взаимодействуют с электрическим слоем каменного материала. Если знаки взаимодействующих электрических полей противоположны, то вяжущее лучше прилипает к камню, если одинаковые – хуже.

В зависимости от количества содержащихся поверхностно-активных соединений (характеризующегося кислотным числом) битумы относят к **активным** и **неактивным**. Активные – это битумы с кислотным числом выше 0,7 мг КОН/г. Недостаточная активность битумов в необходимых случаях (прежде всего при применении кислых минеральных материалов) компенсируется добавками **ПАВ**.

К ним, как уже отмечалось, относятся такие, которые способны адсорбироваться на поверхности раздела фаз, снижая при этом избыток межфазной поверхностной энергии. Молекулы большинства ПАВ имеют дифильное строение и состоят из двух частей – полярной (гидрофильной) группы и неполярного углеводородного радикала. При адсорбции на поверхности раздела фаз ПАВ образуют слои ориентированных молекул. При этом полярные группы взаимодействуют с твердой поверхностью каменного материала, а углеводородная часть молекул оказывается обращенной наружу в сторону битума. Таким образом, ориентированные слои молекул ПАВ на межфазных поверхностях изменяют молекулярную природу поверхности каменного материала и условия взаимодействия граничащих фаз, что и приводит к усилению сцепления между минеральным материалом и битумом. По химической природе ПАВ разделяются на ионогенные и неионогенные.

Ионогенные ПАВ – это вещества, содержащие в молекуле гидрофобную часть (радикал) и одну или несколько полярных групп и диссоциирующие в водном растворе с образованием заряженных длинноцепочных органических ионов, определяющих их поверхностную активность.

Неионогенные ПАВ не диссоциируют в воде и таким образом не образуют заряженных ионов.

Ионогенные ПАВ в свою очередь подразделяются на **анионактивные** и **катионактивные**. Анионактивные ПАВ образуют при диссоциации в воде **отрицательно** заряженные поверхностно-активные ионы (анионы), катионактивные ПАВ – **положительно** заряженные ионы (катионы).

Для улучшения сцепления битума с основными минеральными материалами (известняками, доломитами, базальтами, диабазами, основными металлургическими шлаками) применяют анионактивные ПАВ. Образующиеся в этом случае на поверхности зерен нерастворимые в воде соединения (например, кальциевые соли карбоновых кислот) способствуют упрочнению сцепления с битумным слоем.

При использовании кислых и ультракислых горных пород (кварцитов, гранитов, андезитов и др.) улучшение сцепления с битумом может быть достигнуто применением катионактивных ПАВ.

Характерными представителями анионактивных ПАВ являются высшие карбоновые кислоты, соли (мыла) тяжелых и щелочно-земельных металлов высших карбоновых кислот, высшие фенолы. Наибольшее распространение из этой группы ПАВ получили госсиполовая смола (хлопковый гудрон), кубовые остатки синтетических жирных кислот, окисленный петролатум и др.

Катионактивные ПАВ представляют собой соли высших алифатических аминов, четырехзамещенные аммониевые основания. К ним относятся катапин и катамин, адгезионные присадки БП-2 и БП-3, амины C_{10} - C_{17} и др.

Известны два способа введения добавок ПАВ в битумоминеральные композиции: в битум и в минеральный материал (до его смешивания с битумом).

Первый способ предусматривает введение ПАВ в битум при получении его на нефтеперерабатывающих заводах или при изготовлении окисленных и жидких битумов в дорожно-строительных организациях. При втором – минеральные материалы перед смешиванием с битумом обрабатывают ПАВ. В этом случае существенно повышается их эффективность действия при меньшем их расходе. ПАВ применяют в следующих случаях:

- при устройстве асфальтобетонных покрытий осенью и ранней весной в связи с повышенной влажностью минеральных материалов и неблагоприятными температурными условиями проведения работ;
- если при использовании минеральных материалов с сухой поверхностью не обеспечивается надлежащее их сцепление с битумом;
- для ускорения формирования дорожных покрытий, устраиваемых с применением маловязких (БНД 200/300), а также жидких или разжиженных битумов (особенно в случаях производства работ при пониженных температурах);
- для физико-химической активации минеральных материалов (минерального порошка, песка, щебня).

6.2. Модифицирование битумов полимерами

Одним из основных направлений повышения качества битумных вяжущих является их модификация полимерными материалами, в результате которой получают полимербитумное вяжущее (ПБВ). Применение полимерных добавок позволяет улучшить весь комплекс физико-механических свойств асфальтобетона – повысить прочность, деформационную устойчивость, морозостойкость, водостойкость и др.

Известны два механизма образования ПБВ в зависимости от состава и строения полимерных добавок:

- полимерные добавки изменяют физико-механические свойства и структуру вяжущего, оказывают пластифицирующее воздействие на битум. При этом компоненты системы «битум – полимер» вступают между собой в химическое взаимодействие, в результате чего образуется единая однородная производственная структура;
- полимерные добавки действуют как армирующий элемент, при этом компоненты не вступают между собой в химическое взаимодействие; в полимербитумной композиции образуются независимые пространственные структуры. В обоих случаях полимерные модификаторы должны отвечать следующим основным требованиям:

- быть теплоустойчивыми в диапазоне температур минус 40 °С – плюс 70 °С;
- иметь температуру плавления не выше 170 °С;
- быть устойчивыми против деструкции и старения;
- обладать хорошей адгезией к минеральным материалам.

Выбор полимера-модификатора определяется также с учетом его температурного интервала пластичности и способности растворяться или набухать в битуме.

В качестве добавок в битумы используют полимерные материалы следующих групп:

- каучукоподобные полимеры – эластомеры (натуральный и синтетический (каучук, бутилкаучук, бутадиенстирольные каучуки, полиизобутилен, дивулканизированная резиновая крошка);
- различные латексы (дивинилстирольные, дивинилнитрильные) и жидкие силоксановые каучуки;
- термопластичные пластмассы (полиэтилен и полипропилен, полиметилметакрилат, полистирол, поливинилхлорид);
- термореактивные смолы (феноформальдегидные, эпоксидные);
- термопластичные полимеры (дивинилстирольный, дивинилметастирольный, изопренстирольный блоксополимеры).

Разработаны и применяются различные способы введения модифицирующих полимеров в битумы:

- введение порошкообразного полимера в нагретый до температуры 150 – 170 °С битум;
- введение раствора полимера (в различных углеводородных фракциях) в нагретый битум;
- введение измельченного (порошкообразного) полимера непосредственно в минеральный материал до объединения его с битумом;
- введение полимера в виде латекса в битумную эмульсию.

Перспективными являются комплексные вяжущие на основе битумов и пластифицирующих низкомолекулярных полимеров. Высокие реологические свойства отмечаются, например, у остаточного или окисленного нефтяного битума при добавлении к нему или их компаунду 1 – 5 % полиэтилена, полиизобутилена, полибутилена, бутилкаучука, эпоксидной смолы и др. При этом массовая доля модифицирующих добавок может достигать 20 %.

Для низковязких битумов, отличающихся пониженным содержанием асфальтенов и смол, успешно применяются дивинилстирольные термоэластопласты (например, ДСТ-30), которые сочетают высокую прочность при повышенных температурах, низкую температуру хрупкости и эластичность. Добавка ДСТ-30 (обычно 2,0 – 4,5 %), растворенная до 15 – 20 %-й концентрации в углеводородных растворителях, вводится в разогретый до 100 – 110 °С битум. Наличие в полимербитумном вяжущем растворителя позволяет существенно снизить температуру приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей. Введение 2, 3 и 4 % ДСТ-30 в виде раствора в дизельном топливе дает

возможность получить полимербитумное вяжущее (ПБВ) с температурой хрупкости минус 25 °С, минус 35 °С и минус 50 °С соответственно.

Для приготовления ПБВ этого вида используют битумы марок БНД и БН, блоксополимеров бутадиена и стирола, типа СБС марок ДСТ-30-01, ДСТ-30Р-01. В качестве растворителей ДСТ применяют дизельное топливо, гудрон, жидкий битум марок МГО 70/130 и МГО 130/200. Для улучшения сцепления с каменными материалами в ПБВ вводят ПАВ катионного вида: адгезионную присадку БП-3, коллектор АНП-2, кубовые остатки аминов и др.

В качестве пластификаторов применяют индустриальные масла марок И-20А, И-30А, И-40А и И-50А, а также сырье для получения вязких дорожных битумов.

В соответствии с ОСТ 218.010-98 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа СБС» полученное из этих материалов вяжущее должно отвечать требованиям, приведенным в табл.6.

Таблица 6

**Технические требования к ПБВ
на основе блоксополимеров бутадиена и стирола**

Наименование показателей	Нормы по маркам					
	ПБВ 300	ПБВ 200	ПБВ 130	ПБВ 90	ПБВ 60	ПБВ 40
1. Глубина проникания иглы, 0,1 мм, не менее						
при 25 °С	300	200	130	90	60	40
при 0°С	90	70	50	40	32	25
2. Температура размягчения по КиШ, °С, не ниже	45	47	49	51	54	56
3. Растяжимость, см, не менее						
при 25 °С	30	30	30	30	25	15
при 0°С	25	25	20	15	11	8
4. Температура хрупкости, °С, не выше	– 40	– 35	– 30	– 25	– 20	– 15
5. Изменение температуры размягчения после прогрева, °С						
6. Температура вспышки, °С, не ниже	7	7	6	6	5	5
7. Сцепление с мрамором или песком	220	220	220	220	230	230
	Выдерживает по контрольному образцу № 2 (метод А)					

Известны способы модификации битумов с использованием регенерированной резины и резиновой крошки, полученной путем вторичной переработки автомобильных шин и других резинотехнических изделий. Измельченную резину в порошкообразном состоянии в количестве 3 – 5 % вводят в битум, разогретый до 150 – 250 °С.

Свойства полученных таким способом резинобитумных вяжущих могут изменяться в широком диапазоне в зависимости от режима смешения, соотно-

шения и химического состава компонентов, а также состояния поверхности резиновой крошки.

Резинобитумное вяжущее отличается от исходного битума пониженной температурой хрупкости и повышенной температурой размягчения. Высокие показатели трещиностойкости объясняются большим содержанием в резинобитумных композициях парафинонафтовых углеводородов. Наибольший эффект модифицирования резиновой крошкой достигается в высоковязких битумах (БНД 40/60), что проявляется в более значительном расширении интервала пластичности резинобитумных композиций.

В практике дорожного строительства многих стран имеется значительный опыт улучшения свойств битумов добавками каучука. Синтетические каучуки увеличивают растяжимость битумов, их ударную прочность, снижают температуру хрупкости. Разработаны следующие способы введения каучука в битум:

- смешением битума с небольшими (2 – 5 %) добавками каучука при температуре не выше 150 °С с энергичным перемешиванием;
- предварительное растворение каучука и объединение этого раствора с битумом;
- введение латекса каучука в битум.

Излишне высокая температура перемешивания битума с каучуком влияет на свойства как битума, так и каучука. При интенсивном перемешивании битума с каучуком под воздействием повышенных температур (140 – 200 °С) происходит разрыв молекул каучука, при этом снижается эффективность его влияния на свойства битума. Для того чтобы избежать этого, длительность и температура перемешивания с каучуком должны быть ограничены. При температуре 130 °С каучукобитумные смеси можно выдерживать не более 72 ч, при 160 °С – не более 12 ч, а при 200 °С – не более 1 ч.

Одним из основных направлений в технологии приготовления каучукобитумных вяжущих является разработка способов введения каучука в битум при пониженных температурах и за счет этого уменьшение деструкции каучука. Реализация этих способов достигается при введении каучука в виде растворов и латексов.

Предварительное растворение каучука в достаточно эффективном, но не слишком легком растворителе, хорошо совмещающемся с битумом, позволяет избежать высоких температур при приготовлении каучукобитумных вяжущих и таким образом предотвратить деструкцию каучука.

Другим направлением является применение латексов (эмульсий) каучука. Эффективным считается введение 2 – 3 % латекса в маловязкие битумы при температуре 80 – 90 °С.

Перспективным направлением повышения качества битумов является введение добавок олигомеров, занимающих промежуточное положение между полимерами и мономерами. Они имеют, как правило, жидкую консистенцию, что обеспечивает существенные технологические преимущества их использования по сравнению с полимерами. По характеру воздействия на свойства битумов олигомеры приближаются к полимерам. Модификация ими битумов по-

звolyет повысить эластичность вяжущего, расширив интервал пластичности, понизить температуру хрупкости.

Весьма ценное качество олигомеров – способность к частичной полимеризации при воздействии относительно невысоких температур. Использование этой способности при температурах, характерных для процесса приготовления асфальтобетонных смесей (120 – 160 °С), обуславливает возможность простой и эффективной технологии производства таких смесей на основе улучшенных олигомерно-битумных вяжущих.

Значительный эффект достигается при одновременном введении в битумы добавок олигомеров и инициаторов полимеризации. Так, при добавлении в битум марки БНД 40/6 олигомерного каучука СКДПН в количестве 20 % и 1 % инициатора полимеризации (гексахлорпарахсилола) интервал пластичности вяжущего увеличился до 133 °С, а температура хрупкости снизилась до – 35 °С. При этом растяжимость вяжущего при 0 °С возросла с 4,5 (у исходного битума) до 15 см.

7. Дорожные эмульсии

7.1. Приготовление эмульсий

Эмульсии – это дисперсные системы, образованные двумя несмешивающимися жидкостями, одна из которых – полярная, а другая – неполярная. Полярную жидкость принято условно называть «водой», а неполярную – «маслом». В зависимости оттого, какая жидкость диспергирована в другой, эмульсии делят на два типа: «**прямые**» – «масло в воде» и «**обратные**» – «вода в масле». Тип эмульсии определяют по свойствам дисперсионной среды: прямые эмульсии «масло в воде» хорошо смешиваются с водой (полярными жидкостями), а обратные – с маслом (нефтяными жидкостями). В дорожном строительстве применяют эмульсии прямого типа.

Битумная эмульсия прямого типа – однородная маловязкая жидкость темно-коричневого цвета, получаемая диспергированием битума в водном растворе эмульгатора.

Битумно-полимерная эмульсия – однородная маловязкая жидкость темно-коричневого цвета, получаемая путем введения полимера в битум либо в жидкий раствор эмульгатора с последующим диспергированием, либо в готовую битумную эмульсию.

Битумы, являющиеся неполярными веществами, не растворяются в воде – полярной жидкости. Они могут быть смешаны с водой только в виде капель размером 1 – 10 мкм. Под действием броуновского движения молекул воды капельки вяжущего сталкиваются и слипаются (коалесцируют). Образующиеся крупные агрегаты капель под действием силы тяжести оседают – происходит **распад эмульсии**.

Для получения устойчивых к распаду эмульсий в них добавляют ПАВ, называемые **эмульгаторами**. В дорожных эмульсиях в качестве эмульгаторов используют **анионактивные** или **катионактивные** ПАВ. При добавлении в систему «битум – вода» поверхностно-активного эмульгатора его молекулы ориентируются на границе раздела фаз («битум – вода») таким образом, что неполярной частью обращены к неполярному битуму, а полярной – к воде. Вследствие этого снижается поверхностное натяжение на границе их раздела, а капельки вяжущего, приобретая одноименный электрический заряд, взаимно отталкиваются, что и препятствует их слипанию и распаду эмульсии (рис. 12).

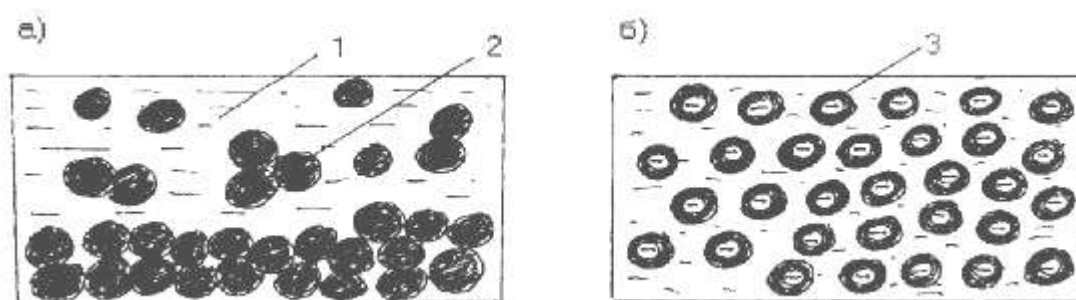


Рис. 12. Схема коалесценции: а – частиц битума; б – стабилизации эмульсии ПАВ;
 1 – вода; 2 – электрически нейтральные частицы битума;
 3 – частицы битума, заряженные отрицательным анионактивным эмульгатором

В качестве эмульгаторов в прямых дорожных эмульсиях применяют:

- **анионактивные ПАВ**: типа высших органических кислот или солей (мыл): асидол, мыло нафтенное, окисленный петролатум, смола нейтрализованная воздухововлекающая (СНВ) и др.;
- **катионактивные ПАВ**: типа аминов, диаминов, полиаминов и четвертичных аммониевых солей (присадка адгезионная БП-3, амины алифатические, катапин А и др.).

В зависимости от вида ПАВ дорожные эмульсии подразделяют на **анионные (ЭБА, ЭБПА)** и **катионные (ЭБК, ЭБПК)**. В состав анионных эмульсий для усиления эмульгирующего действия анионактивного ПАВ вводят едкий натр. В качестве щелочного компонента, кроме того, применяют жидкое стекло, триполифосфат натрия. Количество щелочного компонента определяют с таким расчетом, чтобы водородный показатель водного раствора щелочи был в пределах $pH=9-12$

В катионные эмульсии с этой целью добавляют соляную кислоту, доводя водородный показатель до значения $pH=3-6$.

Для приготовления прямых анионных и катионных эмульсий используют нефтяные дорожные битумы с глубиной проникания иглы не менее 60. Примерные составы прямых эмульсий приведены в табл. 7.

Составы прямых эмульсий

Вид эмульсии	Содержание компонентов, %				
	Битум	ПАВ	Щелочь	Кислота	Вода
Анионная	44 – 45	1 – 4,5	0,3 – 0,7	–	Остальное
Катионная	45 – 55	0,5 – 4,0	–	0,2 – 1,5	Остальное

Эмульгаторы в эмульсиях выполняют две основные функции: на стадии приготовления они оказывают стабилизирующее действие, не давая эмульсиям распадаться в течение длительного времени, а при применении – ускоряют распад эмульсий, благодаря чему на поверхности минеральных материалов образуются плотные водонепроницаемые пленки.

Распад эмульсии при обработке ею минерального материала происходит потому, что капельки битума, заряженные эмульгатором при приготовлении эмульсии, притягиваются некомпенсированным электрическим слоем поверхности минерального материала. Чтобы распад происходил быстрее, необходимо, чтобы знаки электрического заряда битумных капель и минерального материала были противоположными. Анионные эмульсии, заряженные отрицательным зарядом, активно взаимодействуют с основными минеральными материалами (известняки, доломиты, мрамор и т.п.), поверхность которых имеет положительный заряд, образуя на их поверхности водостойкую пленку. С кислыми материалами они взаимодействуют слабо, поэтому пленка вяжущего менее водостойка.

Положительно заряженные катионные эмульсии активно взаимодействуют с отрицательно заряженными кислыми материалами (кварциты, кислые граниты, песчаники и т.п.), несколько хуже – с основными.

Дорожные эмульсии приготавливают на стационарных или передвижных **эмульсионных установках**. Стационарные установки обычно размещают на территории асфальтобетонных заводов, а передвижные используются, когда необходимо обеспечить эмульсией значительный объем работ при их подвижном фронте.

Основным технологическим узлом установок являются эмульсионные машины (диспергаторы) непрерывного или периодического действия.

Получать эмульсии можно по двум технологическим схемам. По первой схеме (рис. 13а) из органического эмульгатора и щелочи (или кислоты) приготавливают водный раствор определенной концентрации, подогретой до температуры 70 – 80 °С. Раствор и битум, разогретый до температуры 90 – 140 °С, в определенных соотношениях подают в диспергатор, где при большой скорости вращения активатора происходит раздробление битума на мельчайшие капли и его равномерное распределение по объему воды.

По второй схеме (рис. 13б) эмульгатор вводят предварительно в битум в битумоплавильном котле, а щелочь (кислоту) – в воду.

Эмульгаторы предварительно отвешивают в необходимом количестве и подают в битумный котел к моменту окончания обезвоживания битума. Для равномерного распределения эмульгатора битум необходимо перемешивать.

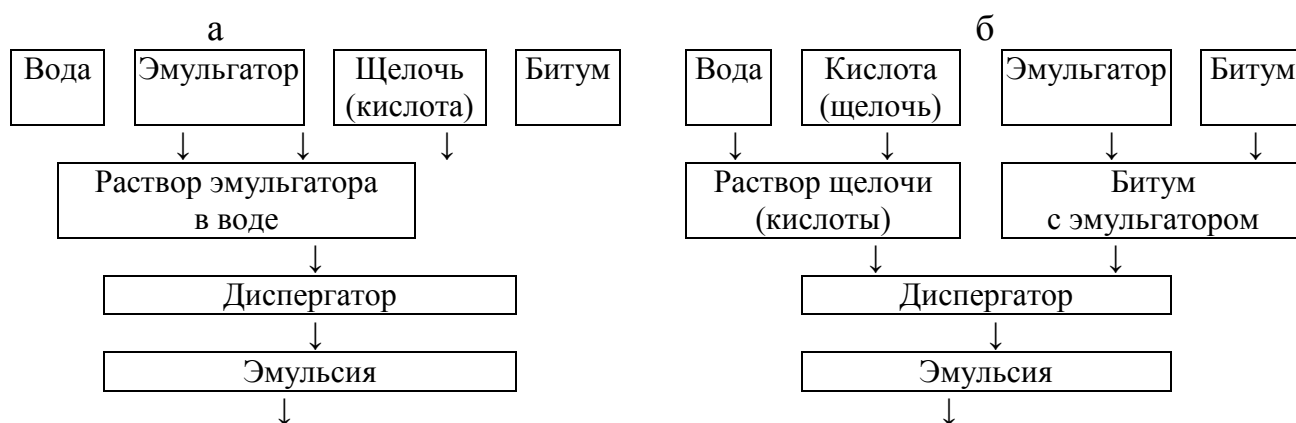


Рис.13. Технологические схемы приготовления эмульсий

Битум и раствор щелочи или кислоты перед подачей в эмульсионную машину должны быть разогреты до тех же температур, что и при первом способе получения эмульсии. Температура готовой эмульсии на выходе из эмульсионной установки должна быть не выше 90 °С.

7.2. Свойства эмульсий

Для оценки качества наиболее часто применяемых в дорожном строительстве прямых эмульсий определяют следующие их свойства:

- условную вязкость;
- устойчивость при хранении;
- содержание битума и эмульгатора;
- смешиваемость с минеральными материалами;
- сцепление пленки вяжущего с минеральными материалами.

Условную вязкость эмульсий определяют по той же методике, что и жидких битумов, с той лишь разницей, что температура при испытании должна быть не 60, а 20 °С, а диаметр сточного отверстия 3 мм.

Устойчивость при хранении характеризуется изменением однородности эмульсии, хранившейся при комнатной температуре 7 и 30 суток. Для определения устойчивости в четыре стеклянных цилиндра наливают по 200 г свежеприготовленных эмульсий и хранят их в спокойном состоянии при комнатной температуре. Однородность эмульсии в двух цилиндрах определяют через 7 суток, а в двух других – через 30 суток. Для этого пробы эмульсии в каждом цилиндре процеживают через сито № 0,14 и определяют массовую долю частиц крупнее 0,14 мм.

Содержание битума и эмульгатора определяют выпариванием воды из эмульсии с последующим определением массы остатка. Для этого в чашку для выпаривания, предварительно взвешенную со стеклянной палочкой, наливают около 30 г эмульсии. Чашку с эмульсией и стеклянной палочкой снова взвешивают и ставят на электроплитку или водяную баню.

Эмульсию выпаривают до полного удаления из нее воды, периодически помешивая палочкой. После этого чашку охлаждают и взвешивают вместе со стеклянной палочкой. Процентное содержание битума с эмульгатором рассчитывают по формуле:

$$Б+Э = \frac{g_3 - g_1}{g_2 - g_1}, \quad (5)$$

где g_1 – масса чашки с палочкой, г;

g_2 – масса чашки с палочкой и эмульсией, г;

g_3 – масса чашки с палочкой и остатком после выпаривания, г.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение двух испытаний.

Определение смешиваемости эмульсии с минеральными материалами заключается в визуальной оценке способности эмульсии образовывать равномерную пленку вяжущего на зернах плотного и пористого минерального материала. По этому показателю анионные и катионные эмульсии подразделяются на **три класса**:

1 – быстрораспадающиеся (анионные: ЭБА-1, ЭБПА-1; катионные: ЭБК-1 и ЭБПК-1);

2 – среднераспадающиеся (анионные: ЭБА-2, ЭБПА-2; катионные: ЭБК-2, ЭБПК-2);

3 – медленнораспадающиеся (ЭБА-3, ЭБПА-3; ЭБК-3, ЭБПК-3).

Для определения смешиваемости с **плотными** материалами готовят смесь из 65 г гранитного щебня крупностью зерен свыше 5 до 10 мм, 50 г песка и 8 г неактивированного минерального порошка, в которую добавляют 4 мл воды, а после перемешивания – 14 мл эмульсии. Смесь непрерывно перемешивают в течение 45 с. По окончании перемешивания проводят визуальную оценку смешиваемости.

Если смесь однородная и зерна минерального материала равномерно покрыты сплошной пленкой эмульсии, то эмульсию считают **медленнораспадающейся** и относят к **третьему** классу. Если эмульсия при перемешивании распалась и образовала сгустки битума, оставив минеральные зерна полностью или частично необработанными, то считают, что эмульсия не смешивается со смесью минеральных материалов плотного состава и в этом случае ее испытывают на смешиваемость со смесью минеральных материалов пористого состава.

Для этого готовят смесь из 80 г пористого щебня и 45 г пористого песка, которую увлажняют 3 мл воды и при непрерывном перемешивании в смесь вливают 11 мл эмульсии. После перемешивания в течение 45 с визуально оценивают результат испытания. Если эмульсия распределилась равномерно, ее считают **среднераспадающейся** и относят ко **второму** классу. Если эмульсия не смешивается со смесями минеральных материалов плотного и пористого состава, ее считают **быстрораспадающейся** и относят к **первому** классу.

Сцепление эмульсий 1 и 2 классов с поверхностью щебня оценивают визуально по величине поверхности щебня, на которой сохранилась пленка вяжущего после кипячения зерен, предварительно обработанных эмульсией. Для

этого навеску щебня из гранита при испытании катионных эмульсий или из карбонатных пород при испытании анионных эмульсий массой 1 кг каждая промывают водой и высушивают в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Затем щебень равномерно распределяют на листе бумаги, линейкой делят пробу на четыре квадрата, из каждого квадрата берут для испытания по одному зерну щебня. Зерна обвязывают ниткой или мягкой проволокой, погружают на 1 – 2 с в стакан с дистиллированной водой, вынимают из воды, стряхивают капли и сразу окунают 2 – 3 раза в испытываемую эмульсию, затем подвешивают на штативе на 1 сутки. После этого каждое зерно поочередно погружают в кипящую дистиллированную воду на 30 мин. По истечении этого времени фильтровальной бумагой снимают с поверхности воды всплывшее вяжущее, вынимают зерна щебня, погружают на 1 – 2 с в холодную воду, вынимают из воды, осматривают и оценивают качество сцепления эмульсии с щебнем по степени сохранности пленки вяжущего в соответствии с табл. 8.

Таблица 8

Оценка сцепления эмульсии с каменными материалами

Характеристика пленки вяжущего	Оценка сцепления, балл
Пленка вяжущего полностью сохраняется на поверхности зерен	5
Пленка вяжущего частично отделилась с острых углов и ребер зерен	4
Пленка вяжущего свыше 50 % сохраняется на поверхности зерен	3
Пленка вяжущего менее 50 % сохраняется на поверхности зерен	2

Определение сцепления эмульсий 3-го класса с минеральной частью смеси проводят на смеси эмульсии с плотным минеральным материалом такого же состава, что и при испытании смешиваемости эмульсий с плотными материалами (см. выше). На следующий день после обработки минерального материала от смеси берут две навески по 50 г каждая. Одну навеску помещают на сетку, вторую оставляют для последующего сравнения со смесью, прошедшей испытание.

Химический стакан заполняют примерно на $2/3$ объема дистиллированной водой, устанавливают на электроплитку и доводят воду до кипения. Сетку с навеской смеси опускают в кипящую воду и кипятят в течение 30 мин. Вяжущее, отделившееся от поверхности минеральных зерен в процессе кипения и всплывшее на поверхность, удаляют фильтровальной бумагой. После завершения кипячения сетку со смесью извлекают из стакана и переносят в стакан с холодной водой для охлаждения, после чего смесь переносят на фильтровальную бумагу, осматривают и оценивают качество сцепления эмульсии в соответствии с табл. 8. За результат принимается среднеарифметическое значение результатов двух определений, округленное до целого числа баллов.

7.3. Применение эмульсий

Формирование структуры эмульсионно-минеральных смесей основано на том, что при смешивании эмульсии с минеральными материалами происходит быстрый ее распад, обусловленный взаимодействием разноименных электрических зарядов на поверхности капелек вяжущего и минеральных зерен. При этом капельки вяжущего осаждаются на поверхности минеральных зерен и отделяется вода, которая в последующем испаряется.

Этот процесс происходит тем быстрее, чем больше содержание тонкодисперсной фракции в минеральной смеси. В качестве добавок, ускоряющих распад эмульсии, применяют сульфатный щелок, соли кальция, магния, сернокислого и хлорного железа, калиево-алюминиевые квасцы. Количество добавки обычно не превышает 0,5 – 1 %. Предварительная обработка минеральных материалов известью, цементом, а также солями двух- и трехвалентных металлов улучшает прилипание к ним вяжущего.

В табл.9 приведены основные области применения эмульсий.

Таблица 9

Области применения эмульсий

Класс эмульсии	Вид работы
ЭБА-1, ЭБПА-1	Уход за свежесделанным цементобетоном и цементогрунтом Подгрунтовка Укрепление поверхности откосов земляного полотна Устройство слоев поверхностной обработки
ЭБА-2, ЭБПА-2	Уход за свежесделанным цементобетоном и цементогрунтом Приготовление черного щебня и щебеночных пористых смесей из карбонатных пород Устройство слоев дорожных одежд способом пропитки
ЭБА-3, ЭБПА-3	Приготовление эмульсионно-минеральных смесей плотного состава, в том числе грунтовых, с обязательным введением в смесь 1 – 2 % извести или 2 – 3 % цемента Закрепление подвижных песков Обеспыливание Укрепление грунтов верхней части земляного полотна
ЭБК-1, ЭБПК-1	Устройство слоев поверхностной обработки Подгрунтовка
ЭБК-2, ЭБПК-2	Устройство слоев дорожных одежд способом пропитки Приготовление черного щебня и пористых щебеночных смесей Устройство слоев поверхностной обработки Подгрунтовка Ямочный ремонт
ЭБК-3, ЭБПК-3	Устройство тонкослойных шероховатых слоев износа Приготовление плотных эмульсионно-минеральных смесей, в том числе грунтовых

8. Перевозка и хранение органических вяжущих материалов

Способ перевозки органических вяжущих материалов выбирается в зависимости от их вязкости и дальности транспортирования.

Для перевозки твердых битумов и пека используют обычные крытые вагоны и платформы. С железнодорожных складов их доставляют в дорожно-строительные организации кузовным транспортом.

Вязкие битумы и дегти по железной дороге транспортируют в цистернах, оборудованных подогревом, а также в бункерных полувагонах.

Перевозку жидких битумов осуществляют в железнодорожных цистернах с обогревом, а при расстоянии до 350 км – автобитумовозами с обогревом.

При загрузке в транспортные средства и выгрузке из них органические вяжущие материалы подогревают:

- вязкие битумы – до 90 – 100 °С;
- вязкие дегти – до 30 – 60 °С;
- жидкие битумы – до 30 – 50 °С.

В процессе загрузки, транспортирования, выгрузки и хранения следует принимать меры, исключающие загрязнение и увлажнение вяжущих. Хранение органических вяжущих материалов осуществляется также в зависимости от их вязкости. Твердые битумы и пеки хранят в крытых складах, предохраняющих их от загрязнения и увлажнения.

Вязкие и жидкие вяжущие хранят в специально оборудованных резервуарах с подводом водяного пара или электроэнергии для обогрева и сжатого воздуха для перемешивания в процессе разогрева. Емкость резервуаров в зависимости от производительности асфальтобетонного завода составляет от 1000 до 5000 м³.

Перед применением органические вяжущие материалы разогревают до рабочих температур, обеспечивающих вязкость, достаточную для хорошего смешения с минеральными материалами, пропитки или поверхностной обработки дорожных покрытий.

Рабочие температуры разогрева зависят от вязкости вяжущих:

- для вязких битумов – 110 – 180 °С;
- для вязких дегтей – 110 – 130 °С;
- для жидких битумов – 25 – 100 °С.

При разогреве органических вяжущих очень важно не допускать их перегрева и продолжительного выдерживания в разогретом состоянии, так как при этом за счет испарения летучих фракций (легких масел) и возможной полимеризации углеводородов может измениться их групповой состав. Перегрев может быть также причиной самопроизвольного возгорания вяжущего.

Органические вяжущие разогревают водяным паром, газами от сжигания топлива, циркулирующими по трубам или каналам, и электричеством. В зави-

симости от условий производства и вида вяжущего применяют одно-, двух и многоступенчатую схемы подогрева.

При хранении, подготовке и использовании органических вяжущих материалов должны строго соблюдаться правила техники безопасности, охраны труда и противопожарные мероприятия.

Пековая пыль и другие дегтевые материалы вызывают раздражение кожи и слизистых оболочек. Поэтому рабочие должны быть обеспечены специальной одеждой, респираторами, защитными очками и перчатками.

Котлы от разогрева вяжущих материалов должны быть оборудованы вентиляционными устройствами и противопожарным оборудованием.

9. Асфальтобетоны

Асфальтобетоном называется искусственный монолитный материал, получаемый в результате затвердевания надлежащим образом уплотненной рационально подобранной асфальтобетонной смеси, приготовленной путем тщательного перемешивания при определенных режимах входящих в нее материалов .

В настоящее время в дорожном строительстве применяют асфальтобетоны по ГОСТ 9128-2009 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон» и по ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные».

Асфальтобетон по ГОСТ 9128-2009 применяют для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог, аэродромов, городских улиц и площадей, дорог промышленных предприятий в соответствии с действующими строительными нормами. Щебеночно-мастичные асфальтобетоны применяют только для устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог, аэродромов, городских улиц и площадей.

9.1. Классификация асфальтобетонов

Асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны по ГОСТ 9128-2009 в зависимости от вида минеральной составляющей подразделяют на **щебеночные, гравийные и песчаные**.

В зависимости от **вязкости** используемого битума и **температуры при укладке** асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны подразделяются:

- на **горячие** – приготовляемые с использованием вязких и жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемых с температурой не менее 120 °С;
- **холодные** – приготовляемые с использованием жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемых с температурой не менее 5 °С.

В зависимости от наибольшего размера минеральных зерен смеси и асфальтобетоны подразделяются:

- на **крупнозернистые** с размером зерен до 40 мм;
- **мелкозернистые** – до 20 мм;
- **песчаные** – до 10 мм.

Холодные смеси подразделяются на **мелкозернистые** и **песчаные**.

Асфальтобетоны из **горячих смесей** в зависимости от величины остаточной пористости подразделяются:

- на **высокоплотные** – с остаточной пористостью от 1,0 до 2,5 %;
- **плотные** – свыше 2,5 до 5,0 %;
- **пористые** – свыше 5,0 до 10 %;
- **высокопористые** – свыше 10,0 %.

Асфальтобетоны из **холодных смесей** должны иметь остаточную пористость от 6,0 до 10,0 %.

Щебеночные и гравийные **горячие** смеси и **плотные** асфальтобетоны в зависимости от содержания в них щебня (гравия) подразделяются на типы:

А – с содержанием щебня свыше 50 до 60 %; высокоплотные смеси и асфальтобетоны – 50 до 70 %;

Б – свыше 40 до 50 %;

В – свыше 30 до 40 %.

Холодные смеси и асфальтобетоны по этому показателю подразделяются на типы Б_х и В_х.

Горячие и холодные **песчаные** смеси и соответствующие им асфальтобетоны в зависимости от вида песка подразделяются на типы:

Г и Г_х – на **песках из отсевов** дробления;

Д и Д_х – на **природных песках** или смесях природных песков с отсевами дробления.

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от показателей физико-механических свойств и применяемых материалов подразделяются на **марки** (табл. 10).

Таблица 10

Марки асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов

Виды и типы смесей и асфальтобетонов	Марки
Горячие:	
Высокоплотные	I
Плотные типов:	
А	I, II
Б, Г	I, II, III
В, Д	II, III
– пористые	I, II
– высокопористые щебеночные	I
– высокопористые песчаные	II
Холодные типов:	
Б _х , В _х	I, II
Г _х	I, II
Д _х	I

По способу уплотнения асфальтобетонные смеси подразделяются:

- на **уплотняемые** (при помощи катков, вибраторов, трамбовок);
- **литые**, не требующие уплотнения.

Тип и марку асфальтобетона выбирают в зависимости от интенсивности движения автомобилей, конструкции дорожной одежды, имеющихся материалов, климатических условий района строительства и условий производства работ.

Применение асфальтобетонов в зависимости от плотности осуществляют с учетом условий их работы. Высокопористый и пористый асфальтобетоны (обычно крупнозернистые), приготовленные с небольшим содержанием минерального порошка или без него, предназначаются в основном для устройства оснований, а также нижних слоев двухслойных покрытий и выравнивающих слоев. Верхний слой покрытий устраивают только из плотных и высокоплотных асфальтобетонов.

Выбор асфальтобетона в зависимости от **наибольшей крупности скелетной фракции** (щебня или гравия) производят с учетом следующих соображений:

- **крупнозернистые** асфальтобетоны применяют только для устройства нижнего слоя двухслойного покрытия, шероховатая поверхность которых обеспечивает хорошее сцепление с верхним слоем, а также для устройства оснований;
- **мелкозернистые** асфальтобетоны используют для устройства однослойных покрытий и верхних слоев двухслойных. В связи с большей однородностью состава эти асфальтобетоны являются более долговечными;
- **песчаные** асфальтобетоны применяют только в верхних слоях покрытий.

В дорожном строительстве находят также применение **формованный** и специальные виды асфальтобетона: **цветной, кислотостойкий, щелочестойкий**.

В соответствии с ГОСТ 31015-2002 **щебеночно-мастичные асфальтобетонные** смеси представляют собой рационально подобранную смесь щебня (в том числе и щебня из гравия, содержащего не менее 85 % дробленых зерен), песка из отсевов дробления, минерального порошка, дорожного битума с полимерными добавками или без них и стабилизирующей добавки, взятых в определенных соотношениях. Стабилизирующая добавка предназначена для обеспечения устойчивости щебеночно-мастичной смеси к стеканию вяжущего при транспортировании.

Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси приготавливают только в горячем состоянии.

В зависимости от крупности щебня щебеночно-мастичные смеси и асфальтобетоны подразделяются на виды:

- ЩМА-20 – с наибольшей крупностью зерен до 20 мм;
- ЩМА-15 – до 15 мм;
- ЩМА-10 – до 10 мм.

9.2. Материалы для асфальтобетонов

Асфальтобетон – строительный материал искусственного изготовления. Для его получения требуются минеральные материалы (щебень, гравий, песок, минеральный порошок) и органическое вяжущее – битум. Каждый из этих материалов выполняет определенную роль в формировании строительно-технических свойств асфальтобетона.

Минеральный остов асфальтобетона формируется из крупнозернистой его составляющей – щебня или гравия и мелкозернистой – песка. Основное назначение остова – придание асфальтобетону сдвигоустойчивости, что особенно важно для верхних слоев дорожных покрытий. Зерновой состав смеси щебня и песка в асфальтобетоне подбирают таким образом, чтобы она имела по возможности меньшую пустотность, заполняемую связующим. Это необходимо как с точки зрения получения асфальтобетона, обладающего максимальной прочностью, так и с точки зрения обеспечения его надлежащей сдвигоустойчивости, износостойкости, температуростойкости и морозостойкости.

Второй структурный элемент асфальтобетона – **асфальтовяжущее**, представляющее собой однородную смесь взятых в оптимальных соотношениях битума и минерального порошка. Основное его назначение – скрепление зернистых минеральных составляющих (щебня и песка) в монолитный материал и придание асфальтобетону прочности, плотности, температуростойкости и долговечности.

Эксплуатационные свойства асфальтобетона зависят не только от количественных соотношений между составляющими его компонентами, но и от их качества.

Рассмотрим требования к минеральным составляющим асфальтобетона – щебню (гравию), песку и минеральному порошку.

9.2.1. Требования к щебню (гравию) и методы оценки его свойств

Щебень получают дроблением прочных морозостойких горных пород магматического, осадочного и метаморфического происхождения, а также крупного гравия и прочных нераспадающихся шлаков. Допускается применение щебня из гравия (дробленого гравия) при условии, что количество дробленых зерен в нем составляет не менее 80 % по массе. Это требование обусловлено тем, что гравий, как правило, неоднороден по петрографическому составу, а вследствие гладкой поверхности и окатанной формы зерен хуже, чем щебень, сцепляется с битумом.

Из скальных пород для получения щебня используют граниты, габбро, диабаз, базальт, андезиты, трахиты, известняки, доломиты и др.

В асфальтобетонах не рекомендуется применять горные породы выветрившие или затронутые выветриванием, со значительным содержанием глинистых примесей – мергели, мергелистые известняки, глинистые песчаники и глини-

стые сланцы. Ограничивается применение метаморфических пород: кварцита, обладающего очень слабым сцеплением с битумом, что требует активации его путем добавления в асфальтобетон извести, цемента или других активаторов; гнейсов и сланцев образующих при дроблении большое количество плоских (лещадных) зерен, из-за чего ухудшается уплотняемость смесей и снижается прочность асфальтобетона.

Щебень должен состоять из однородных по прочности зерен. Содержание глинистых и пылеватых частиц должно быть не более 2 %, а комки глины, суглинки и другие загрязняющие примеси не допускаются.

Форма зерен щебня должна приближаться к тетраэдрной и кубовидной, а содержание в нем зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм должно быть не более, %:

для смесей типа А и высокоплотных и щебеночно-мастичных – 15;

типов Б, Б_х – 25;

В, В_х и пористых – 35.

Зерновой (гранулометрический) состав щебня или гравия для асфальтобетона оценивают просеиванием пробы материала через набор стандартных сит. В набор входят сита с размерами отверстий 1,25; 2,5; 5,0; 10; 20 (15); 40 мм.

Масса просеиваемой пробы щебня или гравия принимается в зависимости от наибольшего размера зерен D:

– при D=10 мм масса пробы 5 кг;

– при D=20 (15) мм – 10 кг;

– при D=40 мм – 20 кг.

Пробу, высушенную до постоянной массы, просеивают ручным или механическим способом, после чего взвешивают частные остатки на каждом сите и определяют полные остатки в процентах к просеянной массе материала.

Наибольшую D и наименьшую d крупности заполнителя характеризуют размерами отверстий сит, полные остатки на которых составляют соответственно не более 10 и не менее 90 %.

Крупный заполнитель для асфальтобетона по своему составу должен отвечать следующим требованиям (табл. 11).

Таблица 11

Рекомендуемый зерновой состав щебня (гравия)

Размер фракций, мм	Полные остатки, % по массе, на сите с размером отверстий			
	d	0,5 (D+d)	D	1,25 D
5(3) – 10	90 – 100	30 – 80	До 10	До 0,5
5(3) – 20	90 – 100	30 – 75	– " –	– " –
5(10) – 40	90 – 100	x)	– " –	– " –
10 – 20	90 – 100	30 – 80	– " –	– " –

Примечание. X) – величина полного остатка на сите 0,5 (D+d) устанавливается в соответствии с нормативно-технической документацией.

Марку щебня или гравия по прочности определяют испытанием на дробимость в цилиндре.

Для определения марки щебня или гравия по дробимости используют стальной цилиндр внутренним диаметром и высотой 150 мм, в который насыпают три килограмма испытываемой фракции (5 – 10; 10 – 20 или 20 – 40 мм). В цилиндр сверху вставляют стальной плунжер, посредством которого на прессе материал сжимают со скоростью 1 – 2 кН/с до максимального усилия 200 кН. После сжатия пробу высыплют из цилиндра и взвешивают, а затем просеивают через сито, имеющее размер отверстий в четыре раза меньше минимального размера зерен испытанной фракции:

сито № 1,25 – для щебня (гравия) фракции	5 – 10 мм;
сито № 2,5	– 10 – 20 мм;
сито № 5,0	– 20 – 40 мм.

Остаток на сите взвешивают и вычисляют дробимость фракции с точностью до 1 % по формуле:

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \times 100, \quad (6)$$

где m – масса дробленной пробы, г; m_1 – масса остатка на контрольном сите, г.

После испытания всех фракций определяют средневзвешенное значение показателя дробимости по формуле:

$$D_p = \frac{D_{p1}x_1 + D_{p2}x_2 + D_{p3}x_3}{x_1 + x_2 + x_3}, \quad (7)$$

где D_{p1}, D_{p2}, D_{p3} – значения дробимости отдельных фракций, %; x_1, x_2, x_3 – содержание каждой испытанной фракции в щебне или гравии, %.

По показателю дробимости определяют марку щебня (гравия) по прочности (табл. 12).

Таблица 12

Марки прочности щебня (гравия), определяемые по их дробимости

Марка прочности	Показатель дробимости, %, при испытании				
	осадочных и метаморфических пород	щебня из гравия	гравия	изверженных пород	
				глубинных	излившихся
1400	–	–	–	до 12	до 9
1200	до 11	–	–	12 – 16	9 – 11
1000	11 – 13	до 10	до 8	16 – 20	11 – 13
800	13 – 15	10 – 14	8 – 12	20 – 25	13 – 15
600	15 – 20	14 – 18	12 – 18	25 – 30	15 – 20
400	20 – 28	18 – 26	16 – 24	–	–

Прочность щебня (гравия) для асфальтобетона назначается в зависимости от его вида и марки. Так, в бетонах марки I применяют щебень из скальных пород всех видов марок по прочности от 800 до 1200, в бетонах марки II – от 600 до 1000, а в бетонах марки III – 600 и 800. Щебень из гравия применяют во всех видах асфальтобетона, кроме высокоплотного, а гравий – в горячих смесях типа

В марки II и смесях типов Б и В марки III, а гравий – только в холодных асфальтобетонах марки II.

Для крупного заполнителя асфальтобетона важной характеристикой является **истираемость**. Это свойство определяют в полочном барабане (рис. 14).

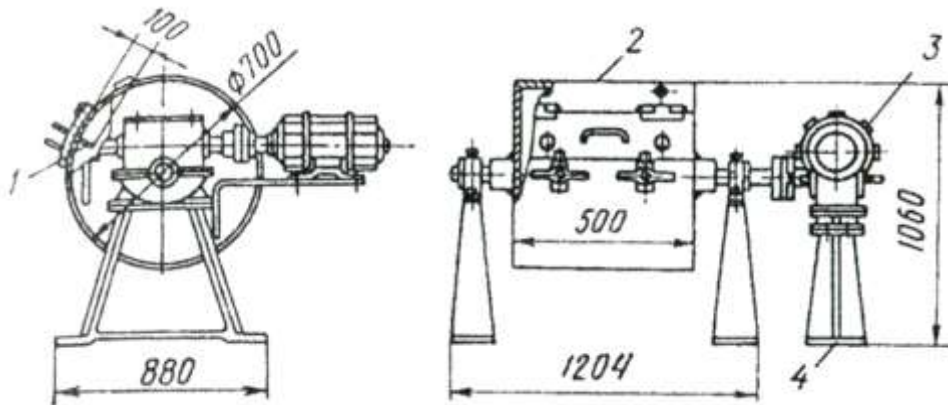


Рис.14. Полочный барабан:

1 – полка; 2 – цилиндр; 3 – электродвигатель; 4 – станина

Испытанию на истираемость подвергают каждую отдельную фракцию заполнителя: 5 – 10 мм, 10 – 20 мм и 20 – 40 мм. Отвешивают по две пробы массой 5 кг, отобранных из фракции 5 – 10 и 10 – 20 мм? и массой 10 кг – из фракции 20 – 40 мм.

Каждую пробу загружают в полочный барабан и туда же загружают чугунные шары диаметром 48 мм. Закрывают крышку барабана и приводят его во вращение со скоростью 30 – 33 об/мин.

Число чугунных шаров и общее число оборотов в процессе испытания принимают по табл.13.

Таблица 13

Число шаров и оборотов барабана

Размер фракции, мм	Число шаров, шт.	Число оборотов барабана
5 – 10	8	500
10 – 20	11	500
20 – 40	12	1000

По окончании испытания содержимое барабана просеивают через сито диаметром 5 мм и контрольное сито №1,25. Остатки на ситах соединяют и просеивают. Истираемость щебня И, %, определяют по формуле:

$$И = \frac{m - m_1}{m} \times 100 \%, \quad (8)$$

где m – масса пробы щебня, г; m_1 – суммарная масса остатков на ситах № 5 и 1,25.

Этот показатель рассчитывают как среднее арифметическое двух параллельных испытаний. Для смеси фракций показатель истираемости вычисляют как средневзвешенное результатов испытаний отдельных фракций.

Марки щебня (гравия) по истираемости в полочном барабане определяют по табл. 14.

Таблица 14

Марки щебня (гравия) по истираемости

Марка	Потеря в массе, %, щебня из	
	природного камня	гравия, шлаков
И-I	До 20	До 25
И-II	Свыше 20 до 30	Свыше 25 до 35
И-III	Свыше 30 до 40	Свыше 35 до 45
И-IV	Свыше 40 до 60	Свыше 45 до 60

Марки щебня по истираемости нормируются для всех видов асфальтобетонов, кроме пористых и высокопористых. В горячих асфальтобетонах марок I и II щебень должен иметь марку по истираемости И-I или И-II, а в холодных – кроме того И-III или И-IV в зависимости от марки асфальтобетона.

Важной качественной характеристикой щебня (гравия) является **морозостойкость**. Марка заполнителя по морозостойкости назначается в зависимости от климатических условий службы асфальтобетонного покрытия, вида и марки асфальтобетона. Так, для дорожно-климатических условий I, II и III зон плотные асфальтобетоны марок I и II из горячих смесей должны выдерживать 50 циклов замораживания и оттаивания, а бетоны марки III – 25 циклов. При эксплуатации в IV и V климатических зонах требования по морозостойкости понижаются на одну марку за исключением горячих смесей типа А и Б марки I и типа А марки II.

Морозостойкость щебня (гравия) определяют следующим образом. Материал данной фракции (масса испытываемой пробы принимается в зависимости от крупности зерен) после высушивания до постоянной массы в течение 48 часов насыщают водой. Затем, слив воду, ее помещают в морозильную камеру и доводят температуру в камере до минус 18 ± 2 °С, при которой выдерживают в течение 4 часов. После этого сосуд со щебнем помещают в ванну с водой с температурой плюс 20 ± 5 °С и выдерживают в ней не менее 2 часов. Затем циклы испытания повторяют.

После 15, 25 и каждых последующих 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания пробу высушивают до постоянной массы и просеивают через контрольное сито, на котором она полностью оставалась перед испытанием.

Потерю массы пробы, %, определяют по формуле:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \times 100 \%, \quad (9)$$

где m – масса пробы до испытания, г; m_1 – масса остатка на контрольном сите после соответствующего числа циклов замораживания и оттаивания, г.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний. При испытании щебня (гравия), состоящего из нескольких фракций, вычисляют средневзвешенное значение Δm .

Морозостойкость щебня (гравия) можно определить **ускоренным** методом. Отличие ускоренного метода от базового заключается в том, что испытываемую фракцию заполнителя насыщают не водой, а насыщенным раствором **сульфата натрия**, а вместо замораживания насыщенную пробу высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 ± 5 °С в течение 4 часов и охлаждают до комнатной температуры, затем снова насыщают и высушивают. После 3, 5, 10 и 15 циклов пробу щебня промывают проточной водой, высушивают до постоянной массы и просеивают через контрольное сито, на котором она оставалась полностью до испытания. Остаток на сите взвешивают и определяют потерю массы так же, как и при базовом испытании.

Марка щебня (гравия) по морозостойкости устанавливается в зависимости от потери массы при испытании (табл.15).

Таблица 15

Требования к морозостойкости щебня (гравия)

Показатель	Марка щебня (гравия) по морозостойкости							
	F15	F25	F50	F100	F150	F200	F300	F400
Количество циклов замораживания и оттаивания	15	25	50	100	150	200	300	400
Потеря массы после испытания, %, не более	10	10	5	5	5	5	5	4
Количество циклов насыщения раствором сульфата натрия и высушивания	3	5	10	10	15	15	15	15
Потеря массы после испытания, %, не более	10	10	10	5	5	3	2	1

9.2.2. Требования к песку и методы оценки его свойств

Для приготовления асфальтобетонных смесей применяют:

– **природный** песок с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате разрушения скальных пород и полученный при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений без использования специального обогащательного оборудования;

– песок из **отсевов дробления** с крупностью до 5 мм, получаемый из отсевов дробления горных пород при производстве щебня и из отходов обогащения руд черных и цветных металлов и неметаллических ископаемых.

В зависимости от условий образования и залегания природные пески бывают горные, речные, морские, озерные, овражные. Горные и овражные пески состоят в основном из зерен остроугольной формы, а морские, озерные и речные – из зерен окатанной формы с гладкой поверхностью.

Пески из отсеков получают из невыветрелых горных пород прочностью не ниже прочности щебня, применяемого в асфальтобетоне. Для этих песков характерны остроугольная форма и шероховатая поверхность зерен, что способствует более лучшему сцеплению их с битумом.

Зерна песка занимают значительную часть объема асфальтобетона, заполняя пространства между более крупными зернами щебня (гравия). В песчаных асфальтобетонах они формируют скелетную часть.

С точки зрения получения плотной минеральной смеси щебеночного асфальтобетона роль песка особенно велика, поскольку его зерна позволяют получить необходимую в этом случае непрерывность гранулометрического состава (от дисперсных частиц минерального порошка до максимально крупных зерен щебня или гравия). В этом смысле важно, чтобы песок сам обладал непрерывной гранулометрией, т.е. содержал в определенных соотношениях зерна разной крупности – от 0,14 (0,16) до 5 мм. Песок, применяемый в асфальтобетоне, должен быть чистым. Содержание пылевидных и глинистых частиц, определяемое отмучиванием, не должно превышать 3 % в природном и 5 % в дробленом песке, в том числе набухающих глинистых частиц – 0,5 и 1,0 % в зависимости от марки асфальтобетона.

Природный песок при обработке раствором гидроксида натрия (колориметрическая проба на органические примеси) не должен придавать раствору окраску, соответствующую или темнее эталона.

9.2.3. Требования к минеральному порошку и методы оценки его свойств

Минеральный порошок представляет собой полидисперсный материал. На его долю приходится до 80 – 85 % суммарной поверхности минеральных зерен асфальтобетона. Основное назначение минерального порошка как наполнителя битума состоит в том, чтобы перевести объемный битум в пленочное (структурированное) состояние, в результате чего повышаются его вязкость, прочность и теплостойкость. Другое назначение минерального порошка – в заполнении мелких пустот между зернами песка и таким образом в повышении плотности минерального остова, следовательно, и плотности асфальтобетона.

Однородная смесь минерального порошка с битумом, называемая **асфальтовязущим**, выполняет роль связующего в асфальтобетоне.

Установлено, что при определенном соотношении битум – минеральный порошок достигается наивысшая прочность системы, образуемой этими материалами. При определенной концентрации минерального порошка в битуме толщина битумных пленок на поверхности его частиц становится такой, что достигается максимальная степень структурирования битума, а следовательно, и максимальная прочность контактов между частицами.

Таким образом, важнейшими свойствами минерального порошка являются способность к физико-химическому взаимодействию с битумом и тонкость его измельчения. В этом смысле наилучшие – минеральные порошки, получен-

ные тонким измельчением карбонатных пород – известняков и доломитов. В качестве минеральных порошков находят применение и материалы искусственного происхождения, такие как цемент, цементная пыль, золы от сжигания каменных углей, тонкоизмельченные металлургические шлаки.

Минеральные порошки по своим свойствам должны отвечать требованиям ГОСТ Р 52129-2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия». К важнейшим контролируемым показателям относятся:

- зерновой состав;
- набухание смеси порошка с битумом;
- пористость;
- водостойкость;
- битумоемкость.

Как уже отмечалось, важнейшей особенностью минерального порошка, обуславливающей его активную структурообразующую роль в асфальтобетоне, является высокоразвитая удельная поверхность. У обычно применяемых порошков она составляет от 2500 до 5000 см²/г. Чем выше удельная поверхность в указанных пределах, тем в большей степени проявляется структурирующее влияние на битум минерального порошка, а следовательно, и выше его роль в асфальтобетоне. Однако при очень высокой дисперсности минерального порошка его положительное влияние снижается вследствие агрегирования наиболее мелких частиц. Образующиеся при этом агрегаты частиц не только снижают эффективную удельную поверхность порошка, но и понижают плотность и коррозионную устойчивость асфальтобетона. Оптимальной считается дисперсность порошка, при которой его удельная поверхность составляет 4000 – 5000 г/см².

В асфальтобетонах и других битумоминеральных смесях применяют неактивированные и активированные минеральные порошки двух марок:

МП-1 – неактивированные и активированные порошки из осадочных (карбонатных) горных пород и порошки из битуминозных пород;

МП-2 – порошки из некарбонатных горных пород, твердых и порошковых отходов промышленного производства.

Минеральные порошки должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 16.

Гранулометрический состав минерального порошка определяют мокрым его рассевом через сита с отверстиями размером 1,25; 0,315 и 0,071 мм. Количество материала, проходящего через эти сита, должно быть не менее указанных в таблице 16.

Набухание минеральных порошков определяют при насыщении водой под вакуумом образцов, отформованных из смесей, состоящих из битума и минерального порошка. Для этого пробу высушенного неактивированного минерального порошка (100 г) разогревают до 150 – 160 °С, активированного – до 135 – 140 °С и смешивают с разогретым до 140 – 160 °С битумом до получения однородной смеси. Количество битума подбирают таким образом, чтобы водонасыщение по объему образцов из смеси порошка с битумом после насыщения

их водой в условиях вакуума и последующего выдерживания в горячей воде находилось в пределах от 4 до 5 %. Для установления требуемого соотношения в смеси порошка и битума, при котором водонасыщение образцов будет составлять от 4 до 5 %, готовят последовательно несколько смесей с разным содержанием битума.

Таблица 16

Показатели свойств минеральных порошков

Наименование показателя	Значение для порошка марки		
	МП-1		МП-2
	Неактивированный порошок	Активированный порошок	
Зерновой состав, % по массе: мельче 1, 25 мм " 0,315 мм " 0,071 мм	Не менее 100 Не менее 90 От 70 до 80	Не менее 100 Не менее 90 От 70 до 80	Не менее 95 От 80 до 95 Не менее 60
Пористость, %, не более	35	30	40
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %, не более	2,5	1,8	3,0
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом не менее	Не нормируется		0,7
Показатель битумоемкости, г, не более	То же		80
Влажность, % по массе, не более	1,0	Не нормируется	2,5

Примечание. В минеральном порошке, получаемом из горной породы, прочность на сжатие которой выше 40 МПа, содержание зерен мельче 0,071 мм допускается на 5 % меньше указанного в таблице.

Ориентировочный расход битума, % массы минерального порошка, составляет:

для активированных – 10 – 15;

неактивированных – 13 – 18;

отходов промышленного производства – 25 – 30.

Из приготовленных смесей формуют не менее трех цилиндрических образцов диаметром и высотой 25 мм, уплотняя смесь под давлением 10 МПа в течение 3 мин. Затем образцы извлекают из формы, через сутки взвешивают сначала на воздухе, а затем в воде, после чего их устанавливают в вакуум-прибор погруженными в воду с температурой 20 °С и подвергают вакуумированию в течение 1,0 ч при остаточном давлении не более 2000 Па (15 мм рт. ст.). После этого давление в вакуум-приборе доводят до атмосферного, а образцы через 30 мин переносят в сосуд, в котором находится вода с температурой 60 °С. Через 4 ч образцы снова помещают в воду с температурой 20 °С на 16 – 18 ч, после чего взвешивают на воздухе и в воде.

Набухание образца в процентах объема вычисляют по формуле:

$$H = \frac{(m_2 - m_3) - (m - m_1)}{m - m_1} \times 100, \quad (10)$$

где m – масса образца на воздухе до насыщения водой, г; m_1 – то же, в воде, г; m_2 – масса образца на воздухе после насыщения водой, г; m_3 – то же, в воде, г.

За величину набухания принимают среднее арифметическое трех определений. Набухание образцов должно быть не более значений, приведенных в табл. 16.

Пористость минерального порошка определяют расчетом на основании предварительно установленных его истинной и средней плотностей.

Истинную плотность определяют с помощью колбы-объемомера Лешателье. Среднюю плотность определяют делением массы образца цилиндрической формы (диаметр и высота 50 мм), полученного уплотнением минерального порошка в стальной форме под давлением 40 МПа, на его объем.

Пористость вычисляют по формуле:

$$П = \left(1 - \frac{\rho_{МП}^{cp}}{\rho_{МП}} \right) \times 100 \%, \quad (11)$$

где $\rho_{мп}$ – истинная плотность минерального порошка, г/см³; $\rho_{мп}^{cp}$ – средняя плотность минерального порошка, г/см³.

Битумоємкость, определяемую только для минерального порошка МП-2, оценивают следующим образом. В фарфоровую чашку отвешивают 15 г минерального масла, в которое небольшими порциями добавляют минеральный порошок, и тщательно перемешивают. Когда смесь приобретет пастообразную консистенцию, ее укладывают в металлическую чашку, выравнивают шпателем вровень с краями и ставят на подставку прибора Вика с пестиком. На верхней площадке стержня прибора должен быть укреплен дополнительный груз массой 170 г.

Пестик подводят к поверхности смеси, отмечают положение указателя по шкале, затем поднимают на 20 мм и освобождают, давая свободно упасть. Глубина погружения пестика должна быть 8 мм. Если она имеет другое значение, то необходимо приготовить новую смесь с другим содержанием порошка.

Показатель битумоємкости вычисляют по формуле:

$$ПБ = \frac{15\rho_{МП}}{Q} \times 100 \%, \quad (12)$$

где $\rho_{мп}$ – истинная плотность минерального порошка, г/см³; Q – количество порошка в смеси с 15 г масла, при котором глубина погружения пестика в смесь равна 8 мм.

Водостойкость образцов из смеси битума с минеральным порошком МП-2 оценивается испытанием образцов, изготовленных таким же образом, что и при определении набухания. Для испытания изготавливают не менее 6 образцов диаметром и высотой 25 мм, одну половину из которых выдерживают в воде, а вторую – насыщают водой под вакуумом и выдерживают в горячей воде (так же, как и при определении набухания). Подготовленные таким образом образ-

цы испытывают на сжатие. Водостойкость $K_{\text{вод}}$ смеси минерального порошка с битумом вычисляют по формуле:

$$K_{\text{вод}} = \frac{R_{\text{вод}}}{R}. \quad (13)$$

где $R_{\text{вод}}$ – предел прочности при сжатии образцов после насыщения водой, МПа; R – предел прочности при сжатии образцов, выдержанных в воде перед испытанием, МПа.

В практике все более широкое применение находят **активированные** минеральные порошки. Суть активации порошков заключается в создании на поверхности их частиц адсорбционного слоя битума. Как известно, битум в таких слоях, находясь в высокоструктурированном состоянии, представляет собой структурно-механический барьер, хемосорбционно связанный с поверхностью. За счет этого значительно облегчается смачивание активированных дисперсных частиц битумом, в результате чего минеральный порошок способствует переводу большей части битума в структурированное состояние. В связи с этим основная функция минерального порошка как микронаполнителя битума, состоящая в том, чтобы переводить объемный битум в пленочное (структурированное) состояние, выполняется активированным порошком более эффективно, чем неактивированным.

Активирующую смесь (битум + ПАВ) вводят в мельницу одновременно с материалом, подлежащим измельчению. В процессе размолла частицы минерального порошка покрываются слоем битума, толщина которого составляет 0,01 – 0,1 мкм. Обычно для получения активированного минерального порошка необходимо от 1,5 до 2,5 % активирующей смеси от массы измельчаемого материала.

Активированный минеральный порошок обладает свойствами гидрофобного материала и практически не смачивается водой. Это облегчает его транспортирование, хранение и применение.

Асфальтобетоны, содержащие активированный минеральный порошок, отличаются повышенной прочностью, плотностью и теплоустойчивостью. Расход битума в них меньше, чем при использовании неактивированных порошков.

Особое значение приобретает активирование минеральных порошков в битумо-минеральных смесях, используемых для устройства облегченных покрытий. К активированным минеральным порошкам предъявляются повышенные требования по зерновому составу (проход через сито 0,071 мм более 80 %), пористости (не более 30 %), набуханию (не более 1,8 %).

10. Основы технологии приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей

Технология асфальтобетона – это совокупность способов выполнения в определенной последовательности операций, режимы и параметры которых обеспечивают получение материала с заданными свойствами при рациональном использовании всех ресурсов (материалов, машин, энергии, трудовых затрат и

др.). Все эти способы в рамках технологического процесса реализуются в операциях, являющихся его составными частями.

Технологический процесс приготовления и использования асфальтобетонных смесей независимо от их назначения складывается из следующих операций:

- выбор исходных материалов, оценка их качественных характеристик и подготовка (обогащение, фракционирование, модификация, дробление, помол, сушка и др.);
- проектирование состава асфальтобетона;
- приготовление асфальтобетонных смесей;
- укладка и уплотнение смесей;
- контроль качества работ по приготовлению, укладке и уплотнению асфальтобетонных смесей.

10.1. Выбор и подготовка исходных материалов

Выбор и подготовка исходных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей производятся в соответствии с действующими нормативно-техническими документами (ГОСТ, ТУ и др.). Непосредственное использование исходных материалов, поступающих на асфальтобетонный завод, не всегда оказывается эффективным и допустимым. В большинстве случаев возникает необходимость улучшать их качественные показатели с помощью дополнительных технологических мероприятий, к числу которых относятся:

- тщательное фракционирование щебня (гравия), т.е. разделение поступающего на завод материала на отдельные фракции: 5 – 10, 10 – 20 и 20 – 40 мм. Дозирование одноразмерных отгрохоченных фракций позволяет выдерживать в строго заданных пределах гранулометрический состав минеральной смеси и обеспечить однородность готовой асфальтобетонной смеси;
- активирование поверхности зерен щебня известью для улучшения сцепления их с битумом. Такой активации подвергают щебень из кислых пород (кварцита, трахита, андезита и др.). Ее производят либо мокрым способом на последней стадии промывки щебня с использованием известкового молока, либо сухим способом, добавляя известь-пушонку в количестве 1,5 – 3 % в асфальтосмеситель перед подачей в него битума;
- фракционирование песков на две или большее количество фракций, дозируемых затем последовательно в строго определенных количествах;
- добавление к природным пескам, при неудовлетворительном их гранулометрическом составе, отсевов дробления камня на щебень или дробленого песка;
- физико-механическая активация песка путем обработки его известью-пушонкой, вводимой в количестве 3 – 4 % по массе. Активацию производят в мельницах. При раздроблении зерен песка свежесформированные поверхности кварца интенсивно адсорбируют известь, в результате чего улучшается сцепление песка с битумом;

- активация минерального порошка поверхностно-активными веществами с битумом, взятыми в соотношении 1:1;
- улучшение свойств битума путем введения в его состав различных добавок (пластифицирующих, модифицирующих, композиционных и др.).

10.2. Приготовление асфальтобетонных смесей

Приготовление асфальтобетонных смесей осуществляется на асфальтобетонных заводах (АБЗ) стационарных или временных. В городах, где асфальтобетонные смеси используют для устройства и ремонта улиц, тротуаров, площадей и др., обычно действуют стационарные АБЗ. Для строительства дорог между населенными пунктами сооружают временные заводы. Их располагают вдоль строящихся дорог, но с учетом железнодорожных станций и подъездных путей для доставки материалов и по возможности ближе к месторождениям минеральных составляющих асфальтобетона. Расстояние между соседними АБЗ назначают по максимально возможной продолжительности транспортирования горячих асфальтобетонных смесей. Обычно такие заводы работают на одном месте 1 – 2 года, после чего их демонтируют и собирают на новом месте.

При устройстве дорог с использованием холодных смесей дальность перевозки не имеет значения. Поэтому такие смеси готовят, как правило, на стационарных заводах.

В состав АБЗ входят следующие цеха и службы:

- битумный цех (битумное хозяйство), включающий битумохранилище, битумоплавильные котлы, битумопроводы и насосные станции;
- склады минеральных материалов, оборудованные механизмами для их выгрузки, складирования и внутрипроизводственного транспортирования;
- дробильно-сортировочный цех для получения фракционированного щебня;
- помольный цех для производства минерального порошка;
- смесительный цех, состоящий из машин и установок, предназначенных для дозирования исходных материалов и их смешивания;
- вспомогательные службы: энергосиловое и паросиловое хозяйства, лаборатория, ремонтные мастерские, бытовые помещения и др.

Если фракционированный щебень и минеральный порошок поступают на АБЗ со специализированных предприятий, то соответствующие цеха (дробильно-сортировочный и помольный) в его составе могут отсутствовать.

Битум поступает на АБЗ в зависимости от вязкости на железнодорожных платформах или в вагонах, в бункерных полувагонах или цистернах. Битум твердых марок хранится в крытых складах в бухтах, а вязких – в битумохранилищах, оборудованных подогревом.

Битум загружают в битумоплавильные котлы, где разогревают до рабочих температур. Одновременно с разогревом происходит обезвоживание битума и при необходимости смешивание с добавками (разжижающими, модифицирующими, пластифицирующими и др.). Подготовленный битум по системе

битумопроводов насосами подается в асфальтосмесительную установку для дозирования в смеситель.

Склады минеральных материалов, готовых к применению, располагают в непосредственной близости к асфальтобетонным установкам, а требующих предварительной переработки – к соответствующим цехам. Рекомендуется устраивать крытые склады или навесы, обеспечивающие хранение 10 – 15-дневного запаса щебня и песка. Поступающий на завод или приготовленный на месте (в помольных установках) минеральный порошок хранят в закрытых бункерных складах или силосах, оборудованных пневмотранспортом.

Технологический процесс приготовления асфальтобетонной смеси включает следующие операции:

- подготовку минеральных материалов: подачу со склада и предварительное дозирование, сушку и нагрев до рабочей температуры щебня и песка. Минеральный порошок сушки и нагрева не требует;
- подготовку битума: подачу из битумохранилища в битумоплавильные котлы, нагрев до рабочей температуры, обезвоживание, введение в необходимых случаях ПАВ и других добавок, дозирование перед подачей в смеситель;
- перемешивание минеральных материалов с битумом и выгрузку готовой асфальтобетонной смеси в бункер-накопитель или кузов автосамосвала.

Основой АБЗ является асфальтосмесительное оборудование, представляющее собой комплект, включающий сушильный агрегат с питателем для предварительного (ориентировочного) дозирования песка и щебня, горячий элеватор для подачи разогретых песка и щебня на грохочение, грохот для разделения разогретой песчано-щебеночной смеси на отдельные фракции и подачи их в отсеки горячего бункера, элеватор для подачи минерального порошка, систему дозаторов для дозирования всех составляющих смеси и подачи их в смеситель, лопастной смеситель периодического или непрерывного действия и бункер-накопитель для приема готовой асфальтобетонной смеси.

По компоновке основных агрегатов различают два типа асфальтосмесителей – **башенный** и **партерный**. В смесителях башенного типа компоновка агрегатов развивается в вертикальном направлении, в смесителях партерного типа – в горизонтальном. По принципу работы асфальтосмесители бывают циклического (периодического) или непрерывного действия. Они могут работать в автоматическом или дистанционном режимах управления. Производительность смесительных установок составляет от 25 – 50 до 100 – 200 т/ч.

Асфальтосмесители циклического действия принудительного перемешивания (Д-508-2А, Д-817-2, Д-645-3 др.) являются основными и предназначены для выпуска всех типов и видов смесей.

Схема смесительной установки Д-508-2А производительностью 25 т/ч представлена на рис.15. Предварительно отдозированные щебень и песок подаются питателем 1 на «холодный» ковшовый элеватор 2, а отсюда – в сушильный барабан 3. Просушенные и нагретые в сушильном барабане до рабочих температур (для горячих смесей 200 – 220 °С, для холодных – 115 – 125 °С) песок и щебень элеватором 4 подаются на грохот 5, которым рассортировывается

на отдельные фракции, поступающие в соответствующие отсеки горячего бункера 6. Минеральный порошок в холодном виде подается элеватором 7 непосредственно в отдельный отсек горячего бункера, где немного прогревается.

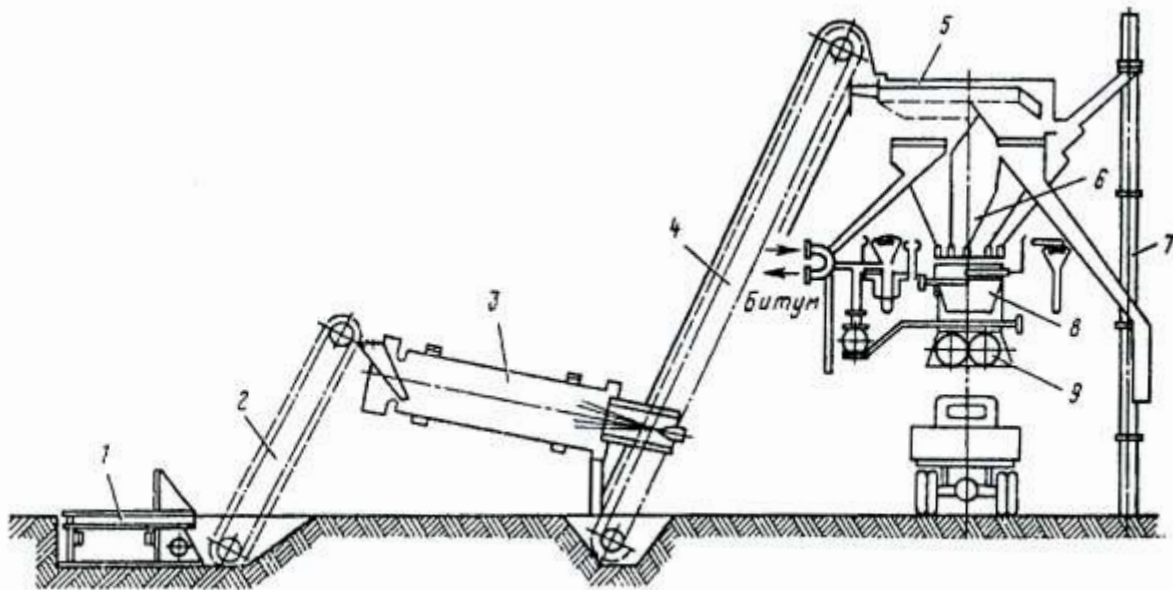


Рис. 15. Схема асфальтосмесителя Д-508-2А

Из отсеков горячего бункера минеральные материалы через затворы попадают в весовой ковш 8, где поочередно (суммированием навесок) взвешиваются в требуемой пропорции на один замес, ссыпаются в лопастную мешалку 9, куда после перемешивания минеральных составляющих в течение 10 – 20 с вводят отдозированное количество битума. Перемешивание всех компонентов одного замеса массой 600 кг продолжается 60 – 80 с.

В асфальтосмесителях с мешалкой непрерывного действия (например, Д-645-3) фракционированный минеральный материал из горячих бункеров дозируют ленточными дозаторами непрерывного действия, минеральный порошок – шнековым. Все материалы в требуемом соотношении поступают в лопастную мешалку, смачиваются непрерывным потоком битума. Перемещаясь к выгрузочному отверстию, смесь перемешивается до однородного состояния. Производительность смесителя Д-645-3 составляет 100 т/ч.

При установлении оптимального времени перемешивания необходимо учитывать, что при равных условиях продолжительность смешения минеральных материалов с битумом тем больше, чем больше содержится в смеси минерального порошка и чем меньше в ней битума.

Повышению качества асфальтобетона способствует рациональная последовательность смешения минеральных материалов. При подаче битума после загрузки щебня, песка и минерального порошка в мешалку большая его часть сразу же объединяется с минеральным порошком и в дальнейшем требуется значительная затрата энергии для того, чтобы перевести часть этого битума с поверхности порошка на поверхность щебня и песка. В связи с этим рекомен-

дуются иная последовательность приготовления смеси. Вначале в мешалку загружают щебень, песок и всю порцию битума. В связи с избытком битума зерна щебня и песка легче и полнее им обволакиваются. Затем в мешалку вводится требуемое количество минерального порошка и перемешивание продолжается до получения однородной массы. Такой порядок приготовления смеси, хотя и сопряжен с дополнительной операцией и некоторым увеличением времени на перемешивание, зато обеспечивает повышение качества асфальтобетона.

Приготовленные горячие и холодные смеси при отгрузке потребителю и на склад в зависимости от показателей битума должны иметь температуру, не ниже указанной в табл. 17.

Таблица 17

Температуры готовых горячих и холодных смесей

Вид смеси	Температура смеси, °С, в зависимости от показателя битума						
	Глубина проникания иглы при 25 °С					Условная вязкость при t=60 °С и d=5 мм	
	40 – 60	61 – 90	91 – 130	131 – 200	201 – 300	70 – 130	131 – 200
Горячая	150 – 160	145 – 155	140 – 150	130 – 140	120 – 130	–	110 – 120
Холодная	–	–	–	–	–	80 – 100	100 – 120

Температура щебеночно-мастичных смесей в зависимости от вязкости применяемого битумного вяжущего при отгрузке потребителю и при укладке должна соответствовать приведенной в табл. 18.

Таблица 18

Температура ЩМА при отгрузке и укладке

Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при температуре 25 °С	Температура, °С	
	При отгрузке	При укладке, не менее
От 40 до 60 вкл.	От 160 до 170	150
Св. 60 до 90	От 155 до 170	145
Св. 90 до 130 вкл.	От 150 до 165	140
Св. 130 до 200	От 140 до 160	135

Если асфальтобетонная смесь приготовлена с добавкой ПАВ или с использованием активированного минерального порошка, то указанные в табл. 17 температуры горячих смесей могут быть снижены на 20 °С. Для высокоплотных асфальтобетонов и асфальтобетонов на полимербитумных вяжущих температуру готовых смесей допускается увеличивать на 20 °С.

10.3. Укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей

Укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей – завершающие стадии формирования структуры асфальтобетона, в значительной мере определяющие его эксплуатационные свойства.

Перед укладкой асфальтобетонной смеси основание должно быть тщательно подготовлено. Оно должно иметь требуемые ширину, толщину, продольный и поперечный уклоны, ровную поверхность. Очень важно обеспечить надежное сцепление укладываемого слоя асфальтобетона с основанием. Для этого основание должно быть очищено, а его поверхность обработана битумом или битумными материалами. Очистку поверхности основания можно производить при помощи дорожных механических щеток, сжатым воздухом. Для обработки поверхности основания применяют вязкие битумы БНД90/130 и БНД130/200 в разогретом состоянии, жидкие битумы класса СГ или битумные эмульсии с содержанием битума не менее 50 %. Если покрытие устраивается по новому основанию, построенному с применением органических вяжущих материалов, дополнительная обработка поверхности основания битумом или битумной эмульсией может не проводиться. Если асфальтобетонное покрытие устраивается по старому деформированному асфальтобетонному покрытию, то кроме обычных подготовительных работ нужно тщательно заполнить все имеющиеся в старом покрытии трещины.

Для получения покрытия хорошего качества укладывать асфальтобетонную смесь необходимо только в сухую погоду. В противном случае невозможно достигнуть надлежащего сцепления укладываемого слоя с основанием или нижним слоем, что значительно ухудшает условия работы покрытия.

Горячие асфальтобетонные смеси должны укладываться с температурой не ниже 120 °С, а холодные – с температурой не ниже 5 °С.

Укладку асфальтобетонных смесей производят асфальтоукладчиком, который состоит из приемного бункера с питателем, шнека, распределяющего смесь слоем требуемой толщины по всей ширине укладываемой полосы, трамбующего бруса, выравнивающей плиты, ходовой части, двигателя.

Трамбующий брус служит для предварительного уплотнения укладываемого слоя. При движении асфальтоукладчика брус совершает колебательные движения в вертикальном направлении с частотой 1400 ударов в минуту. Предварительное уплотнение трамбующим брусом эквивалентно получаемому при четырех – пяти проходах легкого катка.

Выглаживающая плита предназначена для окончательного выравнивания поверхности укладываемого слоя и придания профиля покрытию. Для улучшения условий работы при пониженной температуре выглаживающая плита оборудуется кожухом, обогреваемым форсункой.

Уплотняют асфальтобетонные смеси катками различной конструкции: гладковальцовыми массой до 6 т (легкие), двухосными двухвальцовыми и трех-

осными трехвальцовыми массой 8 – 18 т (тяжелые), самоходными на пневматических шинах массой 16 и 30 т или виброкатками массой 4 и 8 т.

Катки должны передвигаться со скоростью 2 – 5 км/ч. Уплотнение начинают легкими катками (5 – 10 проходов). После этого продолжают укатку тяжелыми катками (15 – 20 проходов по одному следу), обеспечивающими окончательное уплотнение покрытия.

На качество уплотнения существенное влияние оказывает не только температура смеси, но и ее температурная неоднородность. Уложенные в покрытие порции асфальтобетонной смеси, различающиеся по температуре, будут по-разному и уплотняться. При равном количестве проходов катка участки с более высокой температурой будут уплотняться интенсивней и наоборот. Это вызывает разную степень уплотнения и образование неровностей. Укатку покрытия производят до тех пор, когда исчезнут следы от прохода задних вальцов тяжелых катков.

Уплотнение покрытия считается достаточным, если средняя плотность образца-вырубки, взятого из покрытия, составляет не менее 0,97 – 0,99 средней плотности переформованных стандартных лабораторных образцов, приготовленных из того же образца-вырубки.

Холодные асфальтобетонные смеси используют главным образом в тех случаях, когда невозможно или затруднительно применение горячих смесей. Покрытие из холодного асфальтобетона может устраиваться на любом прочном и монолитном основании. Подготовка основания производится так же, как и при устройстве покрытия из горячих смесей.

Уплотнение слоя холодной асфальтобетонной смеси производится самоходными катками на пневматических шинах (6 – 8 проходов по одному следу) или обычными легкими моторными катками массой до 5 т. После 4 – 8 проходов этого катка по одному следу слой смеси только подпрессовывается, но не становится еще монолитным. Применяются также вибрационные катки и средние катки массой 9 – 10 т.

Окончательное уплотнение покрытия происходит под влиянием проходящих автомобилей. Период уплотнения длится 1 – 1,5 месяца и зависит от интенсивности движения транспорта и погодных условий. Движение автомобилей нужно соответствующим образом регулировать, особенно в начальный период уплотнения. Не следует допускать в это время движения автомобилей со скоростью более 40 км/ч, а также движения по колеям.

11. Структура асфальтобетона

Асфальтобетон представляет собой сложный искусственный конгломерат, основными структурными составляющими которого являются **минеральный остов** и **связующее**, скрепляющее минеральные частицы.

Эксплуатационные свойства асфальтобетона зависят не только от качества входящих в его состав исходных материалов (щебня, песка, минерального

порошка и битума), но и от их количественных соотношений. При этом немаловажное значение имеют такие характеристики исходных материалов, как форма зерен минеральных компонентов, характер их поверхности, минералогический состав, загрязненность, вязкость битума и др.

Множественность факторов, влияющих на свойства асфальтобетона и их взаимозависимость, затрудняет однозначную оценку его структурных и эксплуатационных характеристик. В связи с этим в настоящее время принято рассматривать структуру асфальтобетона на трех структурных уровнях: микро-, мезо- и макроструктурном. На каждом структурном уровне рассматривается двухкомпонентная система, состоящая из **матрицы** и **заполнителя** (табл. 19).

Таблица 19

Характеристики двухкомпонентных структурных систем асфальтобетона

Уровень структуры	Название двухкомпонентной системы	Компоненты системы	
		Матрица	Заполнитель
Микроструктурный	Асфальтовяжущее	Битум	Минеральный порошок
Мезоструктурный	Асфальтовый раствор	Асфальтовяжущее	Песок
Макроструктурный	Асфальтобетон	Асфальтовый раствор	Щебень (гравий)

Такой подход позволяет выявить на каждом структурном уровне главные факторы, определяющие свойства асфальтобетона.

Микроструктура асфальтобетона формируется при смешивании битума с минеральным порошком. Физико-механические свойства асфальтобетона на микроструктурном уровне – это отражение количественного соотношения, свойств и взаимодействия битума и минерального порошка.

Из всех минеральных составляющих асфальтобетона минеральный порошок является самым активным. Его активность по отношению к битуму обусловлена не только химическим составом, но главным образом большой удельной поверхностью. За счет этого основная часть битума распределяется по поверхности частиц минерального порошка. Активно взаимодействуя с битумом, минеральный порошок переводит значительную его часть в структурированное состояние.

Доля структурированного битума в общем его объеме зависит от химического состава минерального порошка, его дисперсности, количества, активности и вязкости битума. При малом содержании минерального порошка при прочих одинаковых условиях количество структурированного битума также незначительно. В этом случае в смеси остается еще некоторое количество объемного (неструктурированного) битума, а минеральные частицы с образовавшимися на их поверхности ориентированными слоями битума взаимодействуют между со-

бой через объемный битум, как бы «плавающая» в нем. Такая структура асфальтового вяжущего называется **базальной** (рис. 16а).

Прочность базальной структуры по мере увеличения содержания минерального порошка возрастает за счет повышения гидродинамического сопротивления объемного битума взаимному перемещению частиц при приложении внешней нагрузки.

При дальнейшем увеличении доли минерального порошка расстояние между отдельными частицами становится меньше, чем сумма толщины структурированных оболочек двух соседних частиц. В этом случае свойства системы обуславливаются характером взаимодействия ориентированных слоев битума, возникает **поровая** структура (рис. 16б), характеризующаяся максимальной прочностью.

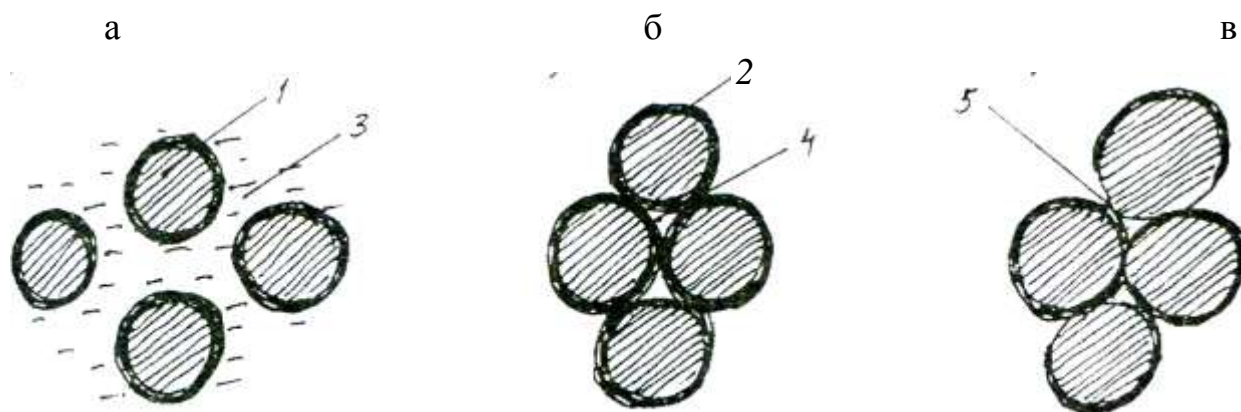


Рис. 16. Виды структур асфальтовяжущего:
а – базальная; б – поровая; в – контактная;
1 – минеральная частица; 2 – структурированный битум;
3 – объемный (неструктурированный) битум; 4 – пора;
5 – контакт по несмоченной битумом поверхности

При увеличении содержания минерального порошка сверх оптимального битума уже не хватает для обволакивания всей поверхности зерен. В асфальтовом вяжущем увеличивается количество пор, а зерна контактируют между собой не только через ориентированные слои битума, но и по несмоченным поверхностям. Образуется **контактная** структура (рис. 16в), характеризующаяся пониженными плотностью и прочностью.

Приведенная здесь классификация типов структур не исчерпывает всех возможных вариантов. В реальных асфальтобетонах могут иметь место и промежуточные типы: порово-базальная и контактно-поровая структуры.

Изменение прочности асфальтовяжущего по мере перехода из одного структурного состояния в другое показано на рис. 17.

Структурированные слои битума на поверхности минеральных зерен формируются главным образом за счет адсорбции асфальтенов и смол, их толщина зависит от вязкого битума – чем больше вязкость, тем толще структурированные оболочки. Поэтому оптимальное соотношение между битумом и ми-

неральным порошком в асфальтовяжущих с поровой структурой с увеличением содержания в битуме асфальтенов и смол должно смещаться в сторону уменьшения содержания минерального порошка.

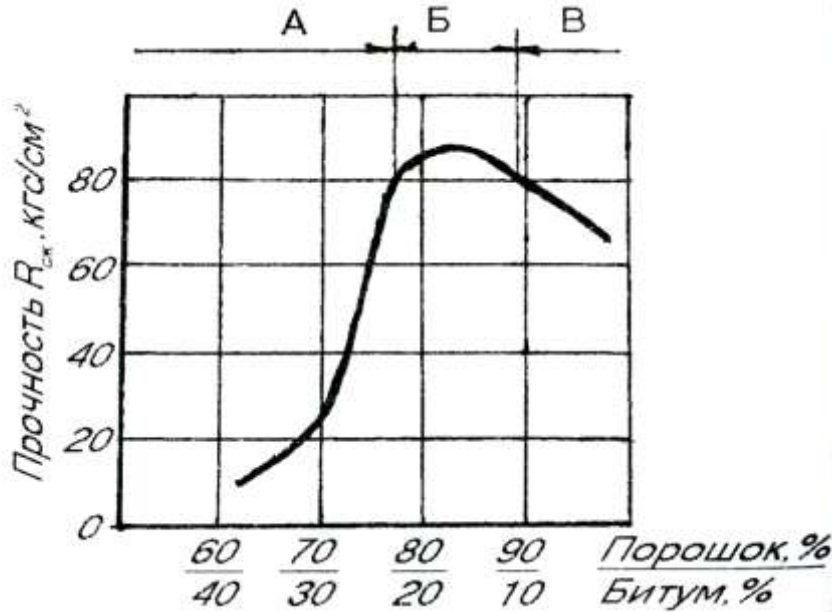


Рис. 17. Зависимость прочности асфальтовяжущего от содержания минерального порошка:

А – базальная структура; Б – поровая; В – контактная

Мезоструктура формируется при добавлении песка в асфальтовяжущее. Физико-механические свойства образующейся при этом смеси, называемой **асфальтовым раствором**, также зависят от количественного соотношения между асфальтовяжущим и песком.

При малом содержании песка, когда его зерна «плавают» в асфальтовяжущем, формируется **базальная** структура, для которой характерна пониженная прочность. Снижение прочности асфальтовяжущего при малом содержании песка обусловлено нарушением при этом его однородности (рис. 18).

По мере увеличения доли песка прочность системы возрастает и при определенном соотношении «асфальтовяжущее – песок» достигает максимального значения. В этом случае зерна песка контактируют одно с другим не через толстые прослойки асфальтовяжущего, а через тонкие оболочки битума, структурированного на их поверхности. При этом все промежутки между зернами песка заполнены асфальтовяжущим и формируется **поровая** структура.

При большом насыщении песком асфальтовяжущего содержащегося в нем объемного (неструктурированного) битума уже недостаточно для песка. В результате этого образующаяся система характеризуется повышенной пористостью, а зерна песка контактируют между собой не только через структурированные оболочки битума, но и непосредственно по обнаженным контактам. Образуется **контактная** структура, для которой характерны высокая пористость, низкая прочность, недостаточные водо- и морозостойкость.

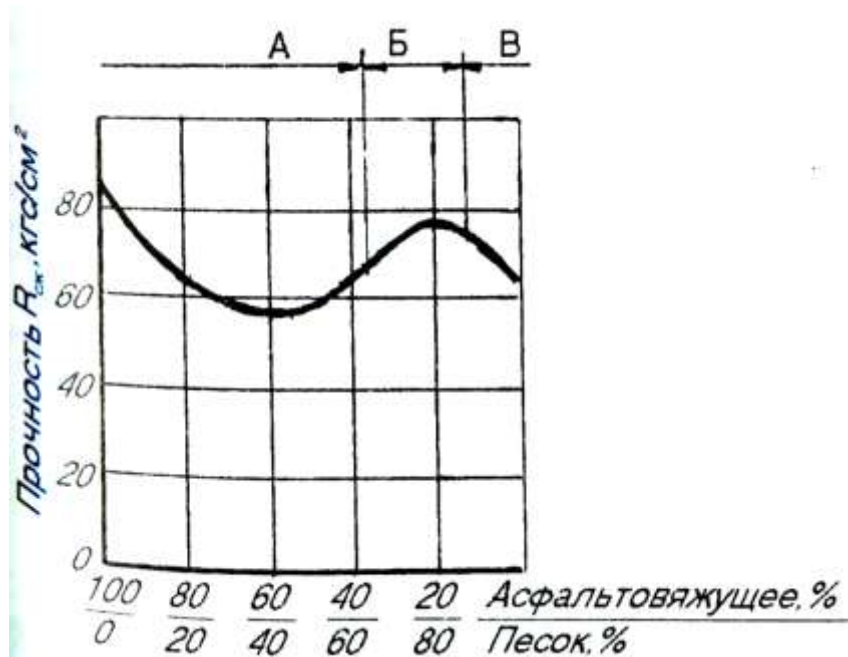


рис. 18. зависимость прочности асфальтового раствора от содержания песка:

А – базальная структура; Б – поровая; В – контактная.

Макроструктура асфальтобетона формируется щебнем и асфальтовым раствором. Физико-механические свойства макроструктуры определяются количественным соотношением между щебнем и асфальтовым раствором, крупностью зерен, характером их поверхности и взаимным расположением. Структурообразующая роль щебня существенно отличается от роли минерального порошка. Его основное назначение заключается в формировании жесткого пространственного каркаса, обеспечивающего прочность и сдвигоустойчивость покрытия.

При малом содержании щебня, когда его зерна «плавают» в асфальтовом растворе, свойства асфальтобетона определяются главным образом свойствами растворной его части (мезоструктуры), а форма и размеры зерен щебня не оказывают на них существенного влияния. В этом случае формируется **базальная** структура (рис. 19).

С увеличением содержания щебня расстояния между его зернами сокращаются и между ними образуются контакты через прослойки структурированного на их поверхности битума. При этом все межзерновые пространства заполнены асфальтовым раствором. Образуется **поровая** структура, формирование которой сопровождается нарастанием прочности асфальтобетона. Благодаря образованию жесткого щебенистого каркаса асфальтобетон приобретает значительную сдвигоустойчивость.

Дальнейшее увеличение доли щебня приводит к формированию **контактной** структуры. В этом случае объем растворной части меньше объема пустот между зернами щебня. Образующаяся структура характеризуется повышенной пористостью и малой прочностью.

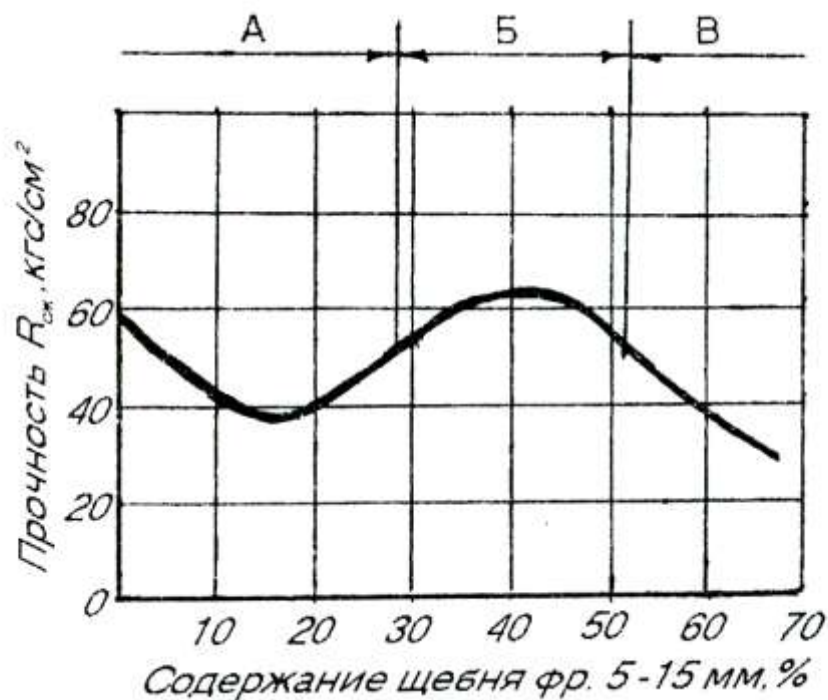


Рис.19. Зависимость прочности асфальтобетона от содержания щебня:
А – базальная структура; Б – поровая; В – контактная

В каждом конкретном случае асфальтобетон с лучшими структурно-механическими характеристиками можно получить только при условии правильного выбора типов структур разных уровней и оптимального их соотношения. Так, лучшие показатели асфальтобетона с поровой структурой достигаются при порово-базальной мезоструктуре и базальной микроструктуре. С другой стороны, асфальтобетон с базальной макроструктурой имеет наиболее высокие показатели физико-механических свойств, если он сформирован контактно-поровой мезоструктурой и поровой микроструктурой.

Важным фактором формирования структуры того или иного типа является вязкость вяжущего. Менее вязкие битумы требуют большего насыщения минеральным порошком. Это связано, во-первых, с тем, что менее вязкие битумы легче распределяются по поверхностям минеральных частиц, образуя при этом тонкие пленки, в которых битум оказывается более структурированным, что обуславливает и более прочные контакты между минеральными частицами.

Применительно к макроструктуре влияния вязкости вяжущего имеет иной характер: по мере уменьшения вязкости битума оптимальное насыщение асфальтобетона щебнем снижается (табл. 20).

На количество минерального порошка и битума в асфальтобетоне с оптимальными структурно-механическими свойствами оказывает влияние также и максимальная крупность зерен минеральной смеси: по мере ее уменьшения оптимальное содержание минерального порошка, а следовательно, и оптимальное содержание битума возрастает.

Влияние вязкости битума на оптимальное содержание щебня в асфальтобетоне

Асфальтобетон	Марка битума	Оптимальное содержание щебня, %	Тип макроструктуры
Горячий	БНД 40/60	55	Поровая
	БНД 60/90	45	– " –
Холодный	СГ 70/130	30	Базальная

12. Свойства асфальтобетона

12.1. Структурные характеристики асфальтобетона

К структурным характеристикам асфальтобетона относятся: средняя плотность асфальтобетона, пористость минерального остова и остаточная пористость асфальтобетона.

Среднюю плотность асфальтобетона определяют гидростатическим взвешиванием образцов, изготовленных в лаборатории или отобранных из конструктивных слоев дорожных одежд. Для этого образцы, как правило, цилиндрической формы взвешивают на воздухе, а затем погружают на 30 мин в сосуд с водой, имеющей температуру 20 °С таким образом, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности образцов не менее чем на 20 мм. После этого образцы извлекают из воды, протирают влажной тканью, взвешивают на воздухе и в воде.

Среднюю плотность образца вычисляют с точностью до 0,01 г/см³ по формуле:

$$\rho_m = \frac{g - \rho^B}{g_2 - g_1}, \quad (14)$$

где g – масса образца, взвешенного на воздухе, г; ρ^B – плотность воды, г/см³; g_1 – масса образца, взвешенного в воде, г; g_2 – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г.

За результат принимают среднеарифметическое значение результатов определения средней плотности трех образцов.

Пористость минерального остова вычисляют по формуле:

$$V_{\text{пор}}^M = \left(1 - \frac{\rho_m^M}{\rho^M} \right) \cdot 100 \%, \quad (15)$$

где ρ_m^M – средняя плотность минеральной части асфальтобетона, г/см³;
 ρ^M – истинная плотность минеральной части асфальтобетона, г/см³.

Среднюю плотность минеральной части определяют расчетом на основании предварительно установленных средних плотностей и соотношения масс минеральной части и битума в асфальтобетоне:

$$\rho_m^M = \frac{\rho^M}{1 + 0,01q_{\delta}}, \quad (16)$$

где ρ_m – средняя плотность асфальтобетона, г/см³; q_{δ} – массовая доля битума, %, в смеси (сверх 100 % минеральной части).

Истинную плотность минеральной части асфальтобетона определяют на основании предварительно установленных истинных плотностей отдельных минеральных материалов – щебня, песка, минерального порошка и др.:

$$\rho^M = \frac{100}{\frac{q_1}{\rho_1} + \frac{q_2}{\rho_2} + \dots + \frac{q_n}{\rho_n}}, \quad (17)$$

где q_1, q_2, \dots, q_n – массовая доля отдельных минеральных материалов, %; $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – истинная плотность минеральных материалов, г/см³.

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 щебеночных	24 %;
Высокопористых песчаных	28 %.

Остаточная пористость асфальтобетона характеризует относительное содержание пор минерального остова, не заполненных битумом. Ее вычисляют по формуле:

$$V_{nop}^o = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100 \%, \quad (18)$$

где ρ_m – средняя плотность асфальтобетона, г/см³;
 ρ – истинная плотность асфальтобетона, г/см³.

Истинную плотность асфальтобетона (г/см³) вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{q_M + q_{\delta}}{\frac{q_M}{\rho^M} + \frac{q_{\delta}}{\rho_{\delta}}}, \quad (19)$$

где q_M – массовая доля минеральных материалов в смеси (принимают за 100 %), %; q_{δ} – массовая доля битума (сверх 100 % минеральной части), %; ρ^M – истинная плотность минеральной части, г/см³; ρ_{δ} – истинная плотность битума, г/см³.

12.2. Деформационные свойства асфальтобетона

Асфальтобетон является упруговязкопластичным материалом. В зависимости от состояния и условий деформирования в нем могут проявляться или преимущественно упругопластические свойства, или вязкопластичные. В большинстве случаев в асфальтобетоне проявляется совокупность этих свойств. В то же время преобладание упругости или вязкопластичности связано, с одной стороны, со скоростью приложения и длительностью действия приложенной к асфальтобетону нагрузки, а с другой – с его температурой.

При быстром приложении нагрузки и неизменной температуре асфальтобетон проявляет преимущественно упругие свойства, при медленном нарастании и длительном действии – вязкопластические. При понижении температуры асфальтобетон все больше становится упругим и менее пластичным. Соотношение между упругопластическими и вязкопластическими свойствами асфальтобетона изменяется под действием процессов старения битума: со временем асфальтобетон становится более упругим и хрупким.

Рассмотрим важнейшие деформативные характеристики асфальтобетона: упругость, пластичность, эластичность, ползучесть, релаксруемость.

Упругость характеризуется мгновенной деформацией, возникающей в момент нагружения и полностью исчезающей после прекращения действия нагрузки. Одновременно с упругими в асфальтобетоне в этом случае могут развиваться и **пластические** деформации, которые после снятия нагрузки не исчезают. При величине действующего напряжения меньше предела упругости или предела текучести в асфальтобетоне развиваются только упругие и пластические деформации (рис. 20).

При снятии нагрузки ($\sigma \rightarrow 0$) форма материала восстанавливается только за счет упругости (ϵ_y). Не восстанавливаемая часть общей деформации ($\epsilon_{пл}$) характеризует пластичность. Эту часть деформации называют еще и необратимой. При многократных и кратковременных нагружениях необратимые пластические деформации накапливаются от одного цикла «нагружение – разгружение» к другому и при определенной величине в конечном счете могут вызвать нарушение сплошности материала (усталостное разрушение).

При более или менее длительном действии нагрузки в асфальтобетоне помимо мгновенных упругих и пластических деформаций развиваются **временные деформации эластичности и ползучести**.

Эластическая деформация – это упругая деформация, развивающаяся в течение времени действия нагрузки. Она развивается с отставанием во времени по отношению к мгновенным упругим деформациям. При снятии нагрузки эластические деформации исчезают также в течение некоторого времени. В связи с этим их еще называют деформациями упругого последействия.

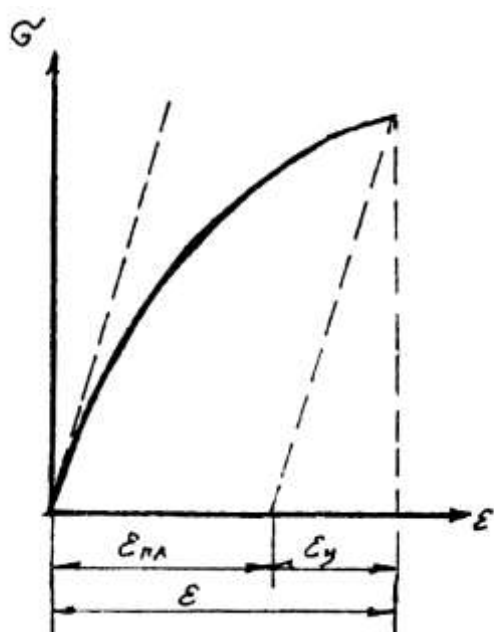


Рис. 20 Диаграмм

ная деформация;

 ε_y — упругая деформация, $\varepsilon_{пл}$ — предел текучести

При величине действующего напряжения меньше предела упругости или предела текучести в асфальтобетоне развиваются только упругие и эластические деформации (рис. 21).

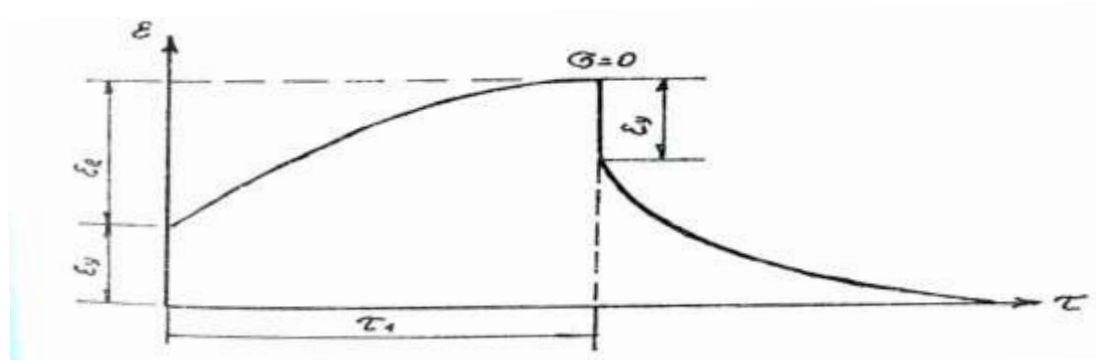


Рис. 21. Развитие деформаций при напряжениях меньше предела текучести:

 ε_y , $\varepsilon_{эл}$ — упругая и эластическая деформации

При напряжении больше предела текучести и достаточно длительном времени (превышающем время полного развития эластической деформации) в материале проявляются деформации вязкого и пластического течения, являющиеся необратимыми. Эти деформации называют деформациями **ползучести** (рис. 22).

Деформационные процессы в асфальтобетоне, обусловленные его нагружением, определяются главным образом специфическими особенностями вяжущего (битума) и характером процесса нагружения (величиной и скоростью нарастания напряжений). Упругопластические свойства битума зависят не только от его группового состава, но и от степени его структурирования и температуры. Так, в асфальтовяжущем с оптимально-минимальным содержанием битума (а значит, с максимальной степенью структурирования) битум обладает

большей упругостью, чем в асфальтобетоне, где толщина битумных пленок больше, а степень структурирования битума меньше. При повышении температуры упругость битума уменьшается, а пластичность увеличивается. При охлаждении же возрастает значение упругости.

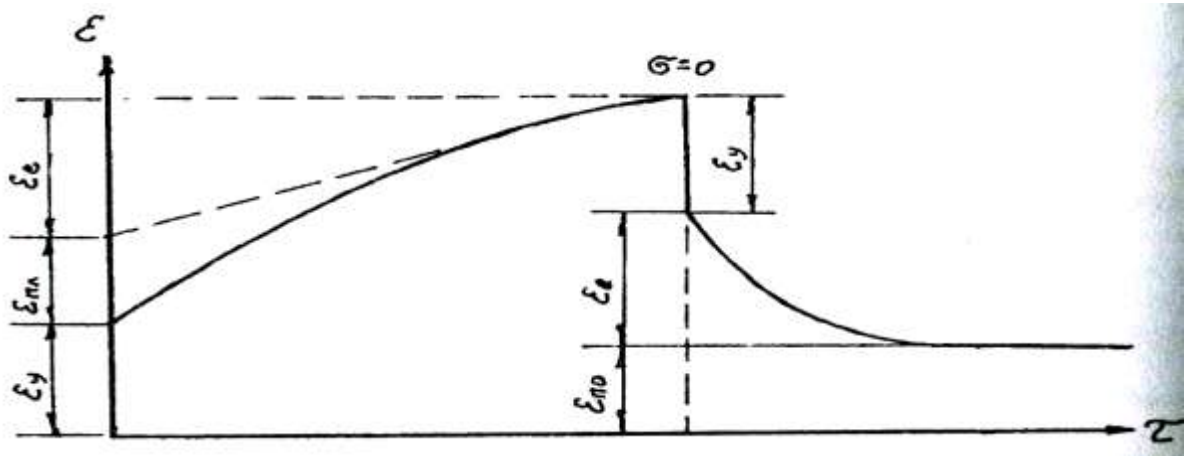


Рис. 22. Развитие деформаций при напряжениях, превышающих предел текучести:
 ϵ_y , $\epsilon_{эл}$, $\epsilon_{по}$ – упругая, эластическая и полная остаточная
 (пластичности и ползучести) деформации

По мере насыщения асфальтовяжущего песком и щебнем (гравием) соотношение между обратимой и необратимой составляющими деформаций изменяется. Так, при добавлении мелкодисперсной фракции песка (с зернами до 1,25 мм) модуль упругости уменьшается за счет разуплотнения структуры асфальтовяжущего. Дальнейшее насыщение асфальтовяжущего более крупными минеральными зернами, формирующими жесткий минеральный каркас, способствует повышению упругости системы.

Важной деформативной характеристикой асфальтобетона является **ползучесть**, т. е. необратимое деформирование при длительно действующей нагрузке. Ползучесть – это разновидность пластической деформации, развивающейся во времени. В основе механизма ползучести (и пластичности) асфальтобетона лежат вязкопластичные свойства битума. Под действием напряжений происходит взаимное перемещение минеральных зерен, при этом битум, связывающий их, деформируется вязкопластически. После прекращения действия напряжения новое взаиморасположение минеральных зерен фиксируется прекратившим деформироваться битумом. Некоторое восстановление формы системы, обусловленное эластичностью (упругим последствием), по величине значительно меньше необратимой части деформации.

Ползучесть асфальтобетона зависит не только от величины (а точнее – уровня) действующего напряжения, но и от температуры. С повышением температуры ползучесть асфальтобетона возрастает, что является одной из причин образования наплывов и волн в покрытиях на участках разгона – торможения транспорта и остановках.

Для правильного понимания условий работы асфальтобетонных покрытий необходимо рассмотреть вопрос о **релаксации напряжений**, поскольку среди дорожно-строительных материалов асфальтобетон является наиболее ярким представителем релаксующихся материалов.

Релаксация напряжений – процесс самопроизвольного уменьшения напряжений в материале при постоянной деформации, строго зафиксированной жесткими связями. Если в материале создать напряжение σ_0 , а вызванную этим напряжением деформацию зафиксировать и сохранять неизменной в течение времени τ , то напряжение в материале будет уменьшаться по экспоненциальному закону (рис. 23), асимптотически приближаясь к минимальному значению.

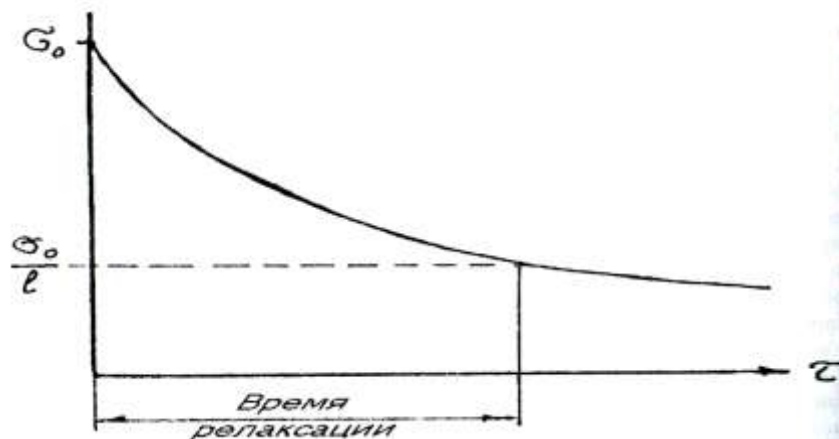


Рис. 23. Диаграмма релаксации напряжений

Остающееся в материале напряжение будет

$$\sigma_{\tau} = \sigma_0 e^{-\tau K}, \quad (20)$$

где e – основание натурального логарифма; K – константа релаксации; τ – время наблюдения.

Время, в течение которого напряжение в материале понижается в $e = 2,72$ раза, называется временем, или периодом релаксации. Этому состоянию соответствует

$$\tau K = 1; \quad (21)$$

откуда время релаксации:

$$\tau = \frac{1}{K}. \quad (22)$$

Константа релаксации K зависит от вязкопластичных свойств материала: чем материал пластичнее, тем больше величина K . Отсюда следует, что в летнее время при высоких температурах время релаксации асфальтобетона уменьшается, а зимой, когда вязкость асфальтобетона возрастает на несколько порядков, время релаксации резко увеличивается.

Время релаксации – это своего рода внутренняя шкала времени, которой определяется поведение материала. Если время действия нагрузки больше времени релаксации, то материал ведет себя как вязкопластичный, а если

наоборот – то как упруговязкий. Один и тот же асфальтобетон может изменять свои деформативные характеристики в широких пределах в зависимости от температуры. Зимой асфальтобетон приобретает очень высокую вязкость (K уменьшается). Поэтому время релаксации велико и намного превышает длительность обычно действующих на него нагрузок. В этих условиях асфальтобетон ведет себя как упругое тело с соответствующим характером деформаций.

Летом при высоких температурах вязкость асфальтобетона резко снижается (K возрастает), а следовательно, резко уменьшается и время релаксации, которое становится сопоставимым или значительно меньшим в сравнении с временем действия нагрузок. Это приводит к появлению пластических деформаций.

В реальных условиях эксплуатации асфальтобетон подвергается многократным нагружениям. Процесс релаксации напряжений при первом и последующем нагружениях неодинаков: напряжения после первого нагружения релаксируют значительно быстрее в сравнении с последующими нагружениями (рис. 24).

Для асфальтобетона немаловажное значение имеет скорость падения напряжения в промежутки времени, сопоставимые с временем действия нагрузок в реальных условиях работы дорожного покрытия. Установлено, что при меньшей скорости нагружения за определенный промежуток времени отрелаксирует большая часть первоначального напряжения по сравнению с нагружением с большей скоростью.

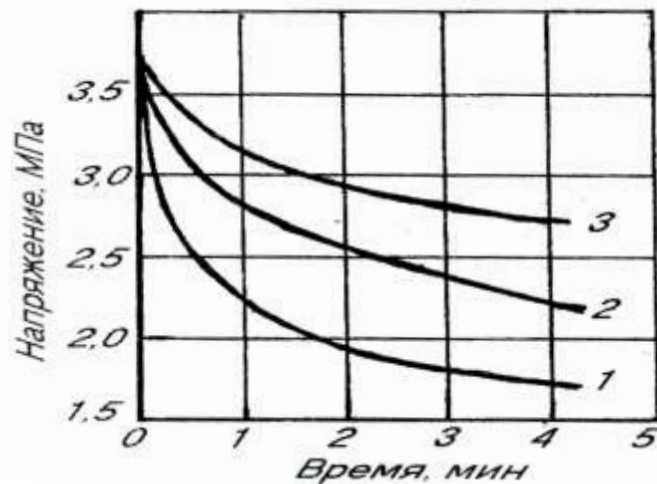


Рис.24. Релаксация напряжений в асфальтобетоне при $t=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и начальном напряжении 3,6 МПа:

1 – первое нагружение; 2 – второе нагружение; 3 – третье нагружение

Одной из характерных особенностей эксплуатации асфальтобетона в дорожных покрытиях являются многократно повторяющиеся его нагружения. Несмотря на кратковременность действия нагрузок от проходящего транспорта в

асфальтобетоне успевают проявиться пластические деформации, которые накапливаются и в конечном итоге могут достигнуть опасных величин.

В процессе накопления необратимых деформаций условно можно выделить три этапа: на начальной стадии скорость накопления необратимых деформаций возрастает от одного нагружения к другому, затем она на некоторое время стабилизируется, после чего резко возрастает.

Такой характер накопления необратимых деформаций связан с изменением структуры материала под действием кратковременных нагрузок. В первый период действия нагрузок высокая скорость накопления необратимых деформаций обусловлена перегруппировкой (взаимным перемещением) структурных элементов асфальтобетона и его уплотнением. Второй период характеризуется стабилизацией структуры материала и ее наибольшей сопротивляемостью действующим нагрузкам. Для третьего же периода характерно появление и накопление внутренних дефектов, наступление «усталости» материала, лавинообразное развитие необратимых деформаций и как следствие разрушение материала.

Таким образом, количественные характеристики процессов накопления необратимых деформаций при многократных нагружениях асфальтобетона являются функцией многих факторов: величины напряжения, скорости его нарастания и времени действия, состава асфальтобетона, вязкости битума, завершенности формирования структуры, степени старения асфальтобетона и его температуры. Поэтому склонность асфальтобетона к накоплению необратимых деформаций при многократных нагружениях в каждом отдельном случае оценивается экспериментально по специальным методикам.

12.3. Прочность асфальтобетона

Прочность характеризует способность материала выдерживать максимальные напряжения (сжатия, растяжения, изгибы и пр.) без разрушения. Разрушение материала под действием напряжения в нем является критической стадией его деформирования. Иначе говоря, разрушение материала наступает в тот момент, когда его деформация достигает предельного (критического) значения, т.е. имеют место нарушения его сплошности.

Как было показано, деформация, развивающаяся в асфальтобетоне при нагружении, складывается из мгновенной деформации упругости ε_y и временных деформаций эластичности ε_e и пластичности (мгновенной и длительной) $\varepsilon_{п.}$:

$$\varepsilon = \varepsilon_y + \varepsilon_e + \varepsilon_{п.} \quad (23)$$

Упругая деформация развивается в материале одновременно с появлением и ростом напряжения, обратимая деформация эластичности также возникает одновременно с напряжением, достигая своего максимального (при данном напряжении) значения в течение некоторого времени и оставаясь далее неизменной. Величина пластической деформации, являющейся необратимой, зависит от длительности действия напряжения: в период возрастания напряжения развивается мгновенная пластическая деформация, а при длительном его действии — пластическая деформация ползучести.

При мгновенном приложении нагрузки (например, при ударе) пластическая деформация может вообще не проявиться и тогда критическая деформация может быть только упругой ($\varepsilon_y = \varepsilon$). В этом случае разрушение происходит при значительно больших напряжениях. Если же напряжения в материале действуют некоторое продолжительное время, то наряду с упругими в нем развиваются обратимые эластичные и необратимые пластические деформации (пластичности и ползучести). Так как в этом случае $\varepsilon_y < \varepsilon$, критическая деформация и разрушение наступают при меньших напряжениях в материале. Таким образом, разрушение асфальтобетона может происходить при разных по величине напряжениях в зависимости от продолжительности действия этих напряжений.

Основным недостатком асфальтобетона как дорожно-строительного материала является зависимость его прочности и деформативных свойств от температуры. При повышении температуры вязкость битума, содержащегося в асфальтобетоне, понижается, связи между минеральными зернами ослабевают, что влечет за собой уменьшение прочности. При понижении температуры происходит обратное: вязкость битума, а с нею и прочность – повышаются. Изменение прочности, связанное с изменением температуры, происходит в достаточно широких пределах: при температуре 50 °С она составляет 1 – 2 МПа, а при температуре минус 35 °С – 18 – 30 МПа. Поэтому при определении прочности асфальтобетона необходимо строго соблюдать условия испытания: скорость возрастания нагрузки (временной фактор) и температуру материала в момент испытания.

Сопротивление асфальтобетона приложенным нагрузкам обусловлено двумя основными факторами: сцеплением между минеральными частицами и трением между ними. Прочность сцепления зависит от вязкости битума и его количественного содержания (иначе говоря, степени структурирования) в асфальтобетоне. При избыточном содержании битума по отношению к оптимальному прочность асфальтобетона зависит главным образом от сцепления.

Величина внутреннего трения определяется гранулометрическим составом минеральной смеси, максимальной крупностью и формой зерен. С увеличением размеров частиц внутреннее трение возрастает. Так, например, угол внутреннего трения крупнозернистого асфальтобетона будет больше, чем у мелкозернистого, и тем более – песчаного. Смесь, состоящая из остроугольных и шероховатых зерен щебня, обнаруживает большее внутреннее трение, чем при окатанных зернах гравия с гладкой поверхностью.

Согласно теории Мора, предельное сопротивление одноосному сжатию и растяжению связано со сцеплением и внутренним трением:

$$R = 2c \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right); \quad (24)$$

$$r = \frac{2c}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (25)$$

где R и r – соответственно предел прочности при сжатии и растяжении, МПа; c – сцепление, МПа; φ – угол внутреннего трения, рад.

Из этих зависимостей следует, что сопротивление сжатию или растяжению возрастает с увеличением сцепления. С увеличением угла внутреннего трения прочность на сжатие повышается, а напряжение – уменьшается.

Соотношение между прочностью на сжатие и растяжение зависит от угла внутреннего трения:

$$\frac{R}{r} = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right), \quad (26)$$

Выполнив несложные преобразования с выражениями (24) и (25), можно получить зависимости для определения угла внутреннего трения и сцепления:

$$\sin \varphi = \frac{R - r}{R + r}; \quad (27)$$

$$c = 0,5 \sqrt{Rr}; \quad (28)$$

Предел прочности асфальтобетона при сжатии определяют путем испытания цилиндрических образцов, диаметр и высота которых должны быть одинаковыми. Изготавливают образцы уплотнением смесей, приготовленных в лаборатории, а также из проб смесей, отобранных на смесительных установках или на участке производства работ.

Размеры образцов выбирают в зависимости от максимальной крупности минеральных зерен в смеси:

для крупнозернистой – 101 мм;
мелкозернистой – 71,4 мм;
песчаной – 50,5 мм.

При приготовлении смесей в лаборатории по горячей технологии минеральные материалы (щебень, песок, минеральный порошок) предварительно высушивают, а битум обезвоживают.

Щебень, песок и битум нагревают до температур, указанных в табл. 21.

Таблица 21

Температура нагрева щебня, песка и битума

Наименование материала	Температура нагрева, °С, в зависимости от показателей						
	глубины погружения иглы при 25 °С					условной вязкости по вискозиметру с отверстием 5 мм, с	
	40 – 60	61 – 90	91 – 130	131 – 200	201 – 300	70 – 130	131 – 200
Щебень, песок	170 – 180	165 – 175	160 – 170	150 – 160	140 – 150	100 – 120	120 – 140
Вязущее	150 – 160	140 – 150	130 – 140	110 – 120	100 – 110	80 – 90	90 – 100
Смесь	150 – 160	145 – 155	140 – 150	130 – 140	120 – 130	80 – 100	100 – 120

Примечание. Минеральный порошок вводится в смесь без предварительного нагрева.

Перед изготовлением образцов формы и вкладыши нагревают до температуры 90 – 100 °С.

Уплотнение образцов из смесей, содержащих до 50 % щебня по массе, производят прессованием под давлением 40 МПа на гидравлических прессах в стальных формах (рис. 25).

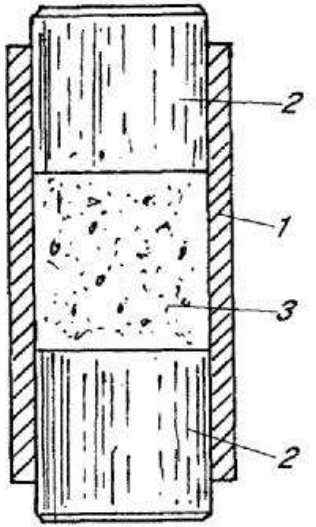


Рис. 25. Форма для изготовления асфальтобетонных образцов:
1 – цилиндрическая форма (полый цилиндр); 2 – вкладыш;
3 – уплотненная асфальтобетонная смесь

Давление на уплотняемую смесь доводят до 40 МПа в течение 5 – 10 с, через 3 мин нагрузку снимают, образцы извлекают из формы выжимным приспособлением. Образцы из холодных асфальтобетонных смесей изготавливают без предварительного их нагрева.

Уплотнение образцов из горячих смесей, содержащих более 50 % щебня по массе, следует производить сначала вибрированием с пригрузом 0,03 МПа в течение 3 мин, а затем прессованием давлением 20 МПа.

Предел прочности при сжатии определяют на прессах при скорости движения плиты 3 мм/мин. Перед испытанием образцы термостатируют при заданной температуре: 50 °С, 20 °С или 0 °С в течение 1 ч в воде с соответствующей температурой.

Для определения предела прочности образцов в водонасыщенном состоянии образцы предварительно насыщают под вакуумом. Для этого их помещают в сосуд с водой с температурой 20 °С так, чтобы уровень воды над ними был не менее 3 см. Этот сосуд устанавливают в вакуумную установку, где создают и поддерживают давление не более 2000 Па (15 мм рт. ст.) в течение 1 ч. Затем давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде еще 30 мин при температуре 20 °С. После этого их извлекают из воды, протирают влажной тканью и испытывают.

Предел прочности при сжатии, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \cdot 10^{-6}, \quad (29)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; F – первоначальная площадь поперечного сечения образца, м².

За результат определения принимают среднеарифметическое значение испытаний трех образцов.

Предел прочности на растяжение при расколе определяют испытанием цилиндрических образцов на раскалывание по образующей (рис. 26). Этот метод предназначен для оценки трещиностойкости асфальтобетона при низких температурах.

Перед определением предела прочности на растяжение при расколе образцы термостатируют в воде при температуре 0 °С в течение 1 ч. Испытание проводят на прессах, обеспечивающих постоянную скорость движения одной

из плит 3 мм/мин. Образец, извлеченный из сосуда для термостатирования, устанавливают в центре нижней плиты пресса на боковую поверхность; затем опускают верхнюю плиту и устанавливают ее выше уровня поверхности образца на 1,5 – 2 мм. После этого нагружают образец.

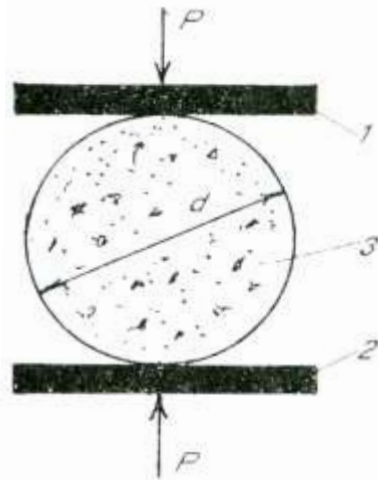


Рис. 26. Схема испытания образца на растяжение при расколе:
1 – верхняя плита пресса; 2 – нижняя плита пресса; 3 – образец

Предел прочности на растяжение при расколе, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_p = \frac{P}{hd} \cdot 10^{-6}, \quad (30)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; h – высота образца, м; d – диаметр образца, м.

За результат определения принимают среднеарифметическое значение испытаний трех образцов.

Сдвигоустойчивость асфальтобетона τ , согласно теории Н.Н. Иванова, выражается зависимостью:

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + c + \Sigma, \quad (31)$$

где P – нормальное давление на площадке сдвига, МПа; φ – угол внутреннего трения асфальтобетона, рад; Σ – зацепление минеральных зерен, МПа; c – сцепление, обусловленное битумными связями, МПа.

Из приведенной зависимости видно, что прочность при сдвиге зависит как от свойств минерального остова (φ , Σ), так и от свойств битума (c). В условиях эксплуатации потеря сдвигоустойчивости асфальтобетона чаще всего связана с повышенными температурами, при которых битум размягчается и прочность сцепления (c) значительно уменьшается.

В связи с этим обеспечение надлежащей сдвигоустойчивости достигается главным образом за счет подбора минеральной смеси, обладающей по возможности большим внутренним трением ($\operatorname{tg} \varphi$) и зацеплением (c). Для таких минеральных смесей характерно повышенное содержание щебня как основного кар-

касообразующего элемента структуры асфальтобетона. Так, например, при содержании щебня 65 % на долю внутреннего трения и сцепления приходится около 90 % прочности при сдвиге, а в асфальтобетоне, содержащем 20 % щебня, – всего около 70 %.

Другим направлением повышения сдвигоустойчивости асфальтобетона является увеличение вязкости и теплоустойчивости асфальтовязующего. Это может быть достигнуто за счет оптимизации его состава (соотношение «битум – минеральный порошок»), активации минерального порошка, а также модификации битума полимерами.

Повышение сдвигоустойчивости асфальтобетона за счет увеличения содержания в нем щебня не всегда оправдано, так как нередко приводит к ухудшению его долговечности. Поэтому задачу можно решить только при сочетании этих двух путей – создания в нем каркасной структуры минерального остова с повышенным содержанием щебня и усилением структурных связей за счет активации минерального порошка и модификации битума.

Согласно ГОСТ 12801-98, характеристиками сдвигоустойчивости асфальтобетона являются коэффициент внутреннего трения (как интегральный показатель внутреннего трения минерального остова и сцепления) и сцепление. Эти показатели определяют следующим образом.

Из асфальтобетонной смеси изготавливают не менее 6 образцов-цилиндров диаметром 71,4 мм. Перед испытанием образцы выдерживают в течение 1 ч в воде с температурой 50 °С. Затем их испытывают нагружением по двум схемам: одну половину образцов – по первой схеме (рис. 27а), другую – по второй (рис. 27б).

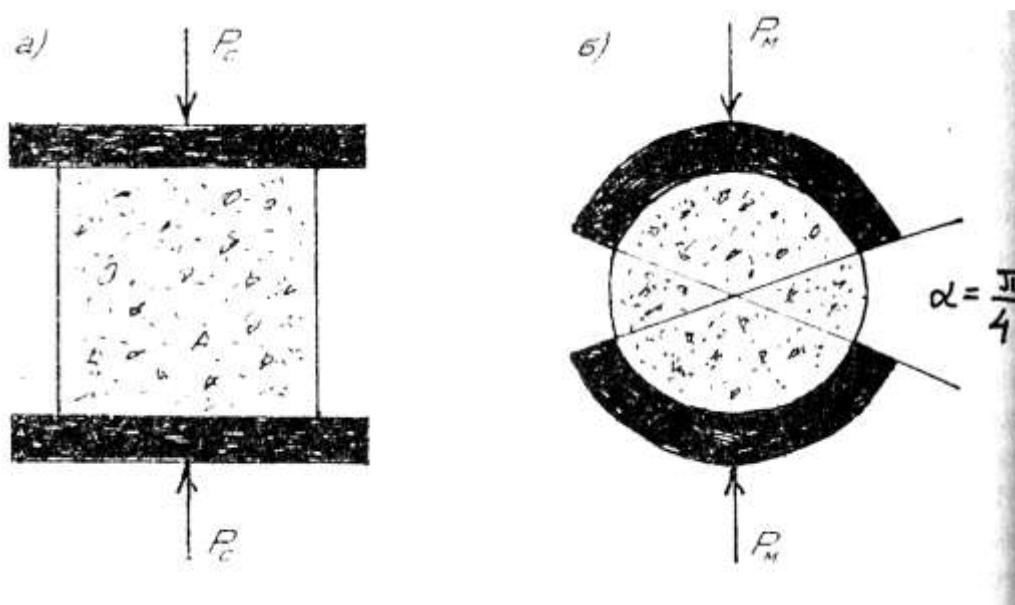


Рис. 27. Схемы испытания образцов на сдвигоустойчивость:
а – при одноосном сжатии; б – по методу Маршалла

Испытание проводят на прессе, обеспечивающем скорость деформирования образцов 50 мм/мин. Образец, извлеченный из термостатирующего устройства, устанавливают в центре нижней плиты пресса при первой схеме нагруже-

ния или в нижнюю часть обжимного устройства – при втором способе нагружения.

В процессе испытания образца фиксируют максимальное показание силоизмерителя, которое принимают за разрушающую нагрузку. Одновременно с помощью индикатора перемещений замеряют предельную деформацию, соответствующую разрушающей нагрузке, и время нагружения образца по секундомеру.

Для каждого образца, испытанного на одноосное сжатие и сжатие по схеме Маршалла, вычисляют работу A , Дж, затраченную на разрушение, по формуле:

$$A = \frac{Pl}{2}, \quad (32)$$

где P – разрушающая нагрузка, кН; l – предельная деформация, мм.

Среднюю работу деформирования образцов вычисляют как среднеарифметическое результатов испытаний не менее трех образцов.

Коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg}\varphi$ вычисляют по формуле:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{3(A_m - A_c)}{3A_m - A_c}, \quad (33)$$

где A_m , A_c – средняя работа деформирования образцов асфальтобетона при испытании соответственно по схеме Маршалла и при одноосном сжатии, Дж.

13. Долговечность асфальтобетона

Асфальтобетон в дорожных покрытиях в процессе эксплуатации подвергается интенсивным механическим и физическим воздействиям, которые в конечном итоге приводят к его разрушению. Наиболее характерными из них являются ударные нагрузки и истирающее действие, оказываемые проходящим транспортом, насыщение материала водой, сопровождающееся чередующимися замораживаниями и оттаиваниями, солевая физическая коррозия. Негативное действие этих факторов усиливается накапливающимися в материале остаточными деформациями, вызванными эксплуатационными нагрузками и неравномерной просадкой оснований. Под действием ультрафиолетового спектра солнечной радиации и кислорода воздуха происходит старение вяжущего, выражающееся в увеличении его хрупкости.

Как уже отмечалось, статические и многократно повторяющиеся нагрузки вызывают накопление в асфальтобетоне необратимых деформаций, достигающих в конечном итоге критических величин. При водонасыщении и замораживании водонасыщенного асфальтобетона в нем возникают дополнительные внутренние напряжения, которые, суммируясь с напряжениями от внешних нагрузок, ускоряют процесс необратимого деформирования и как следствие разрушения.

Внешне разрушение асфальтобетона выражается появлением трещин на поверхности покрытия, в первую очередь вокруг зерен крупного заполнителя, выкрашиванием зерен и разрыхлением материала.

Асфальтобетон является пористым материалом. В асфальтобетоне, надлежащим образом подобранном и тщательно уплотненном, содержатся в основном закрытые (условно-замкнутые) поры, количество которых увеличивается с уменьшением крупности зерен заполнителей. При отсутствии внешнего давления эти поры водой не заполняются. Однако если мокрое покрытие подвергается кратковременному сжатию (колесами проходящего транспорта), часть воздуха из пор отжимается и при разгрузке вследствие упругого восстановления формы в них образуется вакуум, под действием которого вода с поверхности покрытия всасывается в поры. При многократных повторениях этих воздействий поры в поверхностном слое покрытия могут оказаться в значительной мере или полностью заполненными водой. Поскольку вода является практически несжимаемой жидкостью в дальнейшем под действием внешнего давления она продавливается в микротрещины в контакте битума с поверхностью минеральной частицы, вызывая отслоение битумной пленки от зерен заполнителя.

Проникая в микродефекты структуры асфальтобетона, вода вызывает адсорбционное расклинивание, что приводит к раскрытию микродефектов и ослаблению структурных связей. При многократных попеременных увлажнении и высыхании происходит накопление этих дефектов. Разрушение асфальтобетона при его многократном водонасыщении усугубляется глинистыми примесями, содержащимися на поверхности зерен минеральных составляющих. Глинистые частицы, набухая при увлажнении, ускоряют процесс отслоения битумных пленок от поверхности минеральных зерен.

При замерзании воды в порах асфальтобетона, которое всегда происходит с поверхности покрытия, образующиеся кристаллы льда продавливают незамерзшую еще воду в замкнутые поры и они заполняются водой. При предельном насыщении пор водой (теоретически не менее 91 %) очередное замораживание приводит к появлению опасных растягивающих напряжений и обусловленных ими пластических (необратимых) деформаций (объем пор при этом необратимо увеличивается). При оттаивании объем льда уменьшается (примерно на 9 %), а давление в порах становится меньше атмосферного, вследствие чего в них подсасывается некоторое количество воды. При многократных повторениях замораживания и оттаивания накапливающиеся необратимые деформации достигают критических значений и образуются сначала микродефекты, которые затем, накапливаясь и срастаясь, трансформируются в макродефекты. С момента появления макродефектов процесс морозного разрушения асфальтобетона лавинообразно нарастает, так как эти дефекты также заполняются водой и служат источниками внутренних напряжений.

Наиболее слабым местом в асфальтобетоне является контакт асфальтующего с крупным заполнителем. Это обусловлено главным образом разностью коэффициентов температурного расширения каменных материалов и битума: у

каменных материалов коэффициент объемного температурного расширения составляет в среднем $1 \times 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, а у битума – около $8 \times 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, т.е. почти на порядок больше. В связи с этим битум при изменении температуры претерпевает значительно большие деформации, чем минеральное зерно. При положительных температурах возникающие температурные напряжения быстро релаксируют и контакт «зерно – битум» не нарушается. Однако при отрицательных температурах, когда битум становится упругим и хрупким, температурные напряжения вследствие малой релаксруемости значительно возрастают, что и приводит к отрыву битума от зерна заполнителя. В образовавшиеся трещины затем проникает вода, которая при замерзании увеличивает их, и сцепление крупного зерна щебня с окружающим его битумом нарушается.

Существенным фактором долговечности асфальтобетона является **старение битума**, выражающееся в повышении его вязкости, потере пластичности и появлении хрупкости даже при положительных температурах. Под действием тепла, солнечной радиации и кислорода воздуха групповой состав битума в асфальтобетоне изменяется. При этом происходит испарение легких фракций, окисление углеводородов с образованием свободных валентных связей и последующей их полимеризацией, что приводит к образованию крупных более вязких и даже хрупких веществ.

Стабильность нефтяных битумов к воздействию воздуха и солнечной радиации зависит от содержания метановых, нафтеновых и ароматических углеводородов. С увеличением количества кислородсодержащих, азотистых и сернистых соединений стабильность битума уменьшается. Окислительные процессы усиливаются при увеличении пористости асфальтобетона, т.е. при лучшем доступе воздуха и воды.

В максимальной мере окислению и полимеризации подвергается битум в поверхностном слое асфальтобетонного покрытия, подверженном в первую очередь и другим неблагоприятным воздействиям: механическим нагрузкам, водонасыщению, замораживанию и оттаиванию и др. Влияние этих процессов по мере удаления от поверхности в глубь покрытия уменьшается и на определенной глубине может вообще не проявиться. В зависимости от качества асфальтобетона старение битума к моменту появления внешних признаков разрушения покрытия распространяется на глубину от 2 до 6 см.

На процессы старения битума оказывают влияние минеральные составляющие асфальтобетона. Вследствие адсорбционных процессов также происходит изменение группового состава битума и его структурирование. Молекулы углеводородов битума в адсорбционных слоях становятся менее подвижными, чем в свободном битуме, что снижает их реакционную способность. В связи с потерей битумом пластичности, увеличением вязкости и хрупкости свойства асфальтобетона ухудшаются. Он становится более жестким, менее эластичным.

Многообразие факторов, действующих на асфальтобетон в процессе эксплуатации дорожных покрытий, их разнообразные сочетания и интенсивность затрудняют однозначную оценку его долговечности. Тем не менее такие показа-

тели, как водонасыщение, водостойкость, морозостойкость и износостойкость, могут служить своеобразными критериями долговечности асфальтобетона.

Водонасыщение характеризуется количеством воды, поглощенной образцами асфальтобетона при заданном режиме насыщения, отнесенным к объему материала. Водонасыщение определяют на образцах, приготовленных в лаборатории из смеси, или на образцах – вырубках (кернях) из покрытия или основания. Для этой цели используют образцы цилиндрической формы.

Определение водонасыщения проводят следующим образом. Образцы асфальтобетона сначала взвешивают на воздухе, а затем погружают на 30 мин в сосуд с водой, имеющей температуру $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ таким образом, чтобы уровень воды в сосуде был выше поверхности образцов не менее, чем на 20 мм. После этого образцы взвешивают в воде и помещают в сосуд с водой с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см.

Сосуд с образцами устанавливают в вакуумную установку, где создают и поддерживают давление не более 2000 Па (15 мм рт. ст.) в течение 1 ч. Затем давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде с водой в течение 30 мин. После этого образцы извлекают из сосуда, взвешивают в воде, обтирают мягкой тканью и взвешивают на воздухе.

Водонасыщение образца W , %, вычисляют по формуле:

$$W = \frac{g_3 - g}{g_2 - g_1}, \quad (34)$$

где g – масса образца, взвешенного на воздухе, г; g_1 – масса образца, выдержанного 30 мин в воде и взвешенного в воде, г; g_2 – то же, взвешенного на воздухе, г; g_3 – масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г,

За величину водонасыщения принимается округленное до первого десятичного среднеарифметическое трех определений.

Водопоглощение нормируется только для высокоплотных и плотных асфальтобетонов из горячих смесей всех типов (табл. 22).

Таблица 22

Нормативные требования к водонасыщению

Вид и тип асфальтобетона	Водонасыщение, % по объему, для:	
	образцов, отформованных из смеси	вырубок и кернов готового покрытия, не более
Высокоплотный	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

Водонасыщение асфальтобетонов из холодных смесей должно быть от 5 до 9 % (объемных).

Величина водонасыщения зависит от структуры асфальтобетона. С увеличением содержания минеральных зерен увеличиваются размеры пор, количество открытых пор становится больше. Это подтверждается данными В.А. Го-

ловко (рис. 28), показывающими различное водонасыщение асфальтовяжущего (кривая 1), асфальтового раствора (кривая 2) и асфальтобетона (кривая 3) при длительном нахождении образцов в воде.

Набухание асфальтобетона характеризует его гидрофильные свойства и в определенной степени сцепление битума с поверхностью минеральных частиц. Набухание определяют как приращение объема образца после насыщения его водой в вакууме. Для определения набухания используют данные, полученные при определении его водонасыщения.



Рис. 28. Изменение водонасыщения во времени (по данным В.А. Головки):
1 – асфальтовяжущего; 2 – асфальтового раствора; 3 – асфальтобетона

Набухание асфальтобетона определяют в процентах объема:

$$H = \frac{(g_3 - g_4) - (g_1 - g_2)}{g_1 - g_2} \cdot 100, \quad (35)$$

где g_1 – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г; g_2 – масса того же образца, взвешенного в воде, г; g_3 – масса насыщенного в условиях вакуума образца, взвешенного на воздухе, г; g_4 – масса того же образца, взвешенного в воде, г.

За величину набухания принимают округленное до первого десятичного знака среднеарифметическое значение трех определений.

Водостойкость асфальтобетона оценивают коэффициентом водостойкости, который показывает, на сколько уменьшилась его прочность после водонасыщения, и характеризует сопротивляемость асфальтобетона разрушающему действию воды. Коэффициент водостойкости определяют для всех видов асфальтобетонов из горячих и холодных смесей за исключением крупнозернистых. Применяют два метода определения водостойкости.

Первый метод предусматривает оценку падения прочности при сжатии образцов после воздействия на них воды в условиях вакуума. Для этой цели можно использовать образцы, на которых определяют водонасыщение и набухание.

Водостойкость K_B вычисляют с точностью до второго десятичного знака по формуле:

$$K_B = \frac{R_{сж}^B}{R_{сж}^{20}}, \quad (36)$$

где $R_{сж}^B$ – предел прочности при сжатии при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ водонасыщенных в вакууме образцов, МПа; $R_{сж}^{20}$ – то же, образцов до водонасыщения, МПа.

Второй метод отличается от первого тем, что образцы, насыщенные водой в вакууме, переносят в другой сосуд с водой с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, в которой выдерживают в течение 15 сут, после чего испытывают на сжатие. Этим методом оценивают водостойкость при длительном водонасыщении.

По результатам испытаний с точностью до второго десятичного знака вычисляют водостойкость $K_{вд}$ по формуле:

$$K_{вд} = \frac{R_{сж}^{вд}}{R_{сж}^{20}}, \quad (37)$$

где $R_{сж}^{вд}$ – предел прочности при сжатии при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ образцов после насыщения водой в течение 15 сут, МПа; $R_{сж}^{20}$ – предел прочности при сжатии при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ образцов, не насыщаемых водой, МПа.

Очевидно, что показатели водостойкости, определенные по второму методу, имеют меньшие численные значения, чем определенные по первому методу. В действующей нормативной документации требования к асфальтобетонам установлены по показателям водостойкости, определенным по обоим методам.

Морозостойкость асфальтобетона оценивается потерей прочности при сжатии образцов после воздействия на них установленного числа циклов замораживания-оттаивания. Сущность метода заключается в следующем. Насыщенные в вакууме при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ образцы помещают в морозильную камеру и замораживают при температуре минус $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 4 ч. После этого их переносят в ванну с водой, имеющей температуру $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$, где они оттаивают в течение 4 ч. После установленного числа циклов замораживания-оттаивания (5, 10, 15, 25, 50) образцы выдерживают в течение 2 ч в ванне с водой с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и испытывают на сжатие.

Потерю прочности при сжатии ΔR , %, вычисляют по формуле:

$$\Delta R = \frac{R_{сж}^B - R_{сж}^H}{R_{сж}^B}, \quad (38)$$

где $R_{сж}^B$ – среднеарифметическое значение предела прочности при сжатии при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ водонасыщенных в условиях вакуума образцов, МПа; $R_{сж}^H$ – то же, после установленного числа циклов замораживания-оттаивания, МПа.

Количество циклов испытания и допускаемое снижение прочности устанавливаются в проектной документации с учетом реальных климатических условий службы и назначения асфальтобетона.

14. Разновидности асфальтобетонов

14.1. Горячий асфальтобетон

Из всех разновидностей горячий асфальтобетон наиболее широко применяется в дорожном строительстве. Покрытия из этого материала наиболее устойчивы к действию транспортной нагрузки и атмосферных факторов. Их устраивают на дорогах любой грузонапряженности и во всех дорожно-климатических зонах.

Важнейшая особенность горячего асфальтобетона – короткий срок формирования его структуры, практически заканчивающийся с завершением процесса уплотнения и остывания до температуры окружающей среды. Это обусловлено использованием в горячих асфальтобетонах вязких дорожных битумов. Однако это преимущество оборачивается недостатком горячих смесей, так как быстрое загустевание вынуждает сокращать до минимума продолжительность всех работ по доставке, укладке и уплотнению таких смесей. В любом случае асфальтобетонные смеси должны быть уложены в слой и уплотнены до того момента, когда их температура понизится до 120 °С.

Для приготовления горячих асфальтобетонных смесей используют вязкие битумы марок БНД40/60, БНД60/90, БНД90/130, БНД130/200 и БНД200/300, а также битумы марок БН40/60, БН60/90 и БН90/130. При строительстве дорог III и IV категорий в горячих смесях, кроме того, используют жидкие битумы марок СГ130/200, МГ130/200 и МГО130/200.

Выбор марки и класса дорожных битумов для приготовления асфальтобетонных смесей осуществляют с учетом климатических условий эксплуатации, вида асфальтобетона, категории дорог и марок смесей (табл. 23).

В зависимости от удобоукладываемости приготавливают асфальтобетонные смеси жесткие, пластичные или литые. Жесткие смеси обладают повышенным внутренним трением и малой подвижностью. Такие смеси, как правило, имеют повышенное содержание щебня или гравия (смеси типа А). Уплотнение жестких смесей требует применения тяжелых катков или виброкатков. Пластичные смеси более подвижны, чем жесткие, тем не менее они также требуют использования при уплотнении тяжелых катков после предварительной укатки легкими и средними катками. Литые смеси ввиду их значительной подвижности могут быть уплотнены ручными катками.

Таблица 23

Выбор марки битума для асфальтобетонов различного назначения

Дорожно-	Вид асфальто-	Категория автомобильной дороги
----------	---------------	--------------------------------

климатическая зона	бетона	I, II		III		IV	
		Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума
I	Высокоплотный и плотный	I	БНД марок 90/130, 130/200 и 200/300	II	БНД марок 90/130, 130/200 и 200/300 СТ, МГ и МГО всех марок	III	БНД марок 90/130, 130/200 и 200/300 СТ, МГ и МГО всех марок
II, III	Высокоплотный и плотный	I	БНД марок 60/90, 90/130 и 130/200 БН 90/130	II	БНД марок 60/90, 90/130, 130/200 и 200/300 БН всех марок	III	БНД марок 60/90, 90/130, 130/200 и 200/300 БН всех марок СТ, МГ и МГО марки 130/200
IV, V	Плотный	I	БНД и БН марок 40/60 и 60/90	II	БНД и БН марок 40/60 и 60/90	III	БНД и БН марок 40/60, 60/90 и 90/130

Необходимая подвижность горячих асфальтобетонных смесей достигается главным образом за счет разогрева до высоких температур. Однако при определенных температурах подвижность смесей зависит от гранулометрического состава минеральной части, вязкости и содержания битума, качества минерального порошка. Смеси с использованием дробленых минеральных материалов менее подвижны, чем смеси с применением гравия и природного песка. При увеличении содержания минерального порошка смеси становятся более жесткими, а при недостатке битума – более вязкими и менее удобоукладываемыми.

Физико-механические показатели высокоплотных и плотных асфальтобетонов приведены в табл. 24.

Плотные и высокоплотные асфальтобетоны применяют при устройстве верхних слоев покрытий автомобильных дорог и городских улиц, верхних слоев взлетно-посадочных полос, магистральных и прочих рулежных дорожек, а также мест стоянок и перронов аэродромов.

Выбор марки этих асфальтобетонов производится с учетом категории автомобильной дороги или нормативных нагрузок на аэродромные покрытия, а также дорожно-климатической зоны строительства. При этом конкретные показатели свойств асфальтобетонов различных марок назначаются с учетом реальных условий службы материала. Так, например, предел прочности при сжатии

Таблица 24

Нормативные требования к высокоплотным и плотным асфальтобетонам

Наименование показателя	Значения показателя для асфальтобетонов марок								
	I			II			III		
	для дорожно-климатических зон								
	I	II,III	IV,V	I	II,III	IV,V	I	II,III	IV,V
1. Предел прочности при сжатии при t=50 °С, МПа, не менее, для асфальтобетонов: высокоплотных плотных типов: А Б В Г Д	1,0 0,9 1,0 1,1 1,1	1,1 1,0 1,2 1,3 1,3	1,2 1,1 1,3 1,6 1,1	 0,8 0,9 1,1 1,0 1,1	 0,9 1,0 1,2 1,3 1,3	 1,0 1,2 1,3 1,4 1,5	 0,8 1,0 0,9 1,0	 0,9 1,1 1,0 1,1	 1,1 1,2 1,1 1,2
2. Предел прочности при сжатии при t=20 °С, МПа, не менее, для асфальтобетонов всех типов, не менее	2,5	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0
3. Предел прочности при сжатии при t = 0 °С, МПа, для асфальтобетонов всех типов, не менее	9,0	11,0	13,0	10,0	12,0	13,0	10,0	12,0	13,0
4. Водостойкость плотных асфальтобетонов, не менее	0,95	0,90	0,85	0,90	0,85	0,80	0,85	0,75	0,70
5. Водостойкость высокоплотных бетонов, не менее	0,95	0,95	0,90	—	—	—	—	—	—
6. Водостойкость плотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении, не менее	0,90	0,85	0,75	0,85	0,75	0,70	0,75	0,65	0,60
7. Водостойкость высокоплотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении, не менее	0,95	0,90	0,85	—	—	—	—	—	—
8. Сдвигоустйчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее, для асфальтобетонов типов: высокоплотных А Б В Г Д	0,88 0,86 0,80 — 0,78 —	0,89 0,87 0,81 — 0,80 —	 0,91 0,89 0,83 — 0,82 —	 0,86 0,80 0,74 0,78 0,47	 0,87 0,81 0,76 0,80 0,54	 0,89 0,83 0,78 0,82 0,55	 0,79 0,73 0,76 0,45	 0,80 0,75 0,78 0,48	 0,81 0,77 0,80 0,50
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин для всех типов, МПа не менее не более	 3,0 5,5	 3,5 6,0	 4,0 6,5	 2,5 6,0	 3,0 6,5	 3,5 7,0	 2,0 6,5	 2,5 7,0	 3,0 7,5

при температуре 50 °С асфальтобетона типа Б марки I должен быть: для I дорожно-климатической зоны не менее 1,0 МПа; для II и III зон – 1,2 МПа; для IV и V зон – 1,3 МПа. В то же время прочность при сжатии при температуре 20 °С у этих бетонов остается неизменной в пределах каждой марки для всех дорожно-климатических зон. По мере смягчения климатических условий эксплуатации повышаются требования по прочности при сжатии при 0 °С, но понижаются – по водостойкости.

Показатели физико-механических свойств пористых и высокопористых асфальтобетонов из горячих смесей должны соответствовать указанным в табл.25.

Таблица 25

Требования к пористым и высокопористым асфальтобетонам

Наименование показателя	Значение показателя для марок	
	I	II
1. Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее	0,7	0,5
2. Водостойкость, не менее	0,7	0,6
3. Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,6	0,5
4. Водонасыщение, %, по объему для:		
пористых	Свыше 5,0 до 10,0	Свыше 5,0 до 10,0
высокопористых	Свыше 10,0 до 18,0	Свыше 10,0 до 18,0

Примечание. Для крупнозернистых асфальтобетонов значения предела прочности при сжатии при температуре 50 °С и показатели водонасыщения не нормируются.

Пористые и высокопористые асфальтобетоны применяют для устройства оснований и нижних слоев двухслойных покрытий. В связи с повышенной пористостью эти бетоны хорошо сцепляются с укладываемыми на них слоями, что повышает прочность и сдвигоустойчивость дорожной одежды. Для этих же целей применяют и **крупнозернистые** асфальтобетоны.

Мелкозернистые асфальтобетоны, содержащие щебень или гравий с наибольшей крупностью зерен до 20 мм, применяют в основном для устройства верхних слоев покрытий (одно- и двухслойных). Этот вид асфальтобетона придает поверхности покрытия грубую шероховатость, необходимую для обеспечения надлежащего сцепления с автомобильными шинами. Являясь относительно более однородными по сравнению с крупнозернистыми, эти асфальтобетоны обладают и большей коррозионной устойчивостью. При надлежащем гранулометрическом составе и соблюдении других требований, о которых говорилось ранее, покрытия из мелкозернистых асфальтобетонов характеризуются достаточной сдвигоустойчивостью, что предотвращает возникновение наплывов, волн и других сдвиговых деформаций.

Песчаный асфальтобетон применяют только для устройства верхних слоев. Опыт эксплуатации асфальтобетонных покрытий показывает, что в отношении износа, а также коррозионной устойчивости к действию влаги и знакопеременных температур песчаный асфальтобетон не только не уступает, а часто превосходит мелкозернистый. Однако песчаный асфальтобетон пластичнее щебенистого, вследствие чего на покрытиях из него можно чаще встретить волны и сдвиги. Эта особенность песчаного асфальтобетона требует более тщательного подбора его состава. Особенно важно подбирать наиболее плотные минеральные смеси, что позволяет свести к минимуму содержание битума. Это уменьшает пластичность асфальтобетона и повышает устойчивость покрытия.

Необходимая шероховатость поверхности покрытия из песчаного асфальтобетона обеспечивается поверхностной обработкой или вдавливанием черненого щебня в покрытие в процессе его уплотнения.

Дорожные покрытия из песчаного асфальтобетона наиболее гигиеничны по сравнению с другими типами покрытий. Они легко очищаются от пыли и грязи, что имеет особое значение для городских улиц.

Для приготовления песчаного асфальтобетона рекомендуется применять пески, содержащие острогранные зерна крупностью от 0,5 до 5,0 мм, получаемые дроблением прочных горных пород. Покрытия из такого асфальтобетона приобретают хорошее сцепление с автомобильными шинами и более сдвигоустойчивы, чем при применении окатанных природных песков.

Песчаные асфальтобетоны характеризуются повышенным содержанием минерального порошка и битума: соответственно до 20 и 9 %.

Требования к плотным асфальтобетонам типов Г и Д приведены в табл. 24.

Литой асфальтобетон является разновидностью горячего асфальтобетона, от которого отличается повышенным содержанием минерального порошка и битума, технологией приготовления и укладки. Вследствие повышенного содержания асфальтовяжущего литой асфальтобетон после укладки и уплотнения практически не содержит остаточных пор, что предопределяет его водонепроницаемость. Однако по этой же причине он в большей мере подвержен сдвиговым деформациям при повышенных положительных температурах и растрескиванию – при отрицательных.

В зависимости от назначения литой асфальтобетон подразделяют на бетон для устройства проезжей части (жесткий) и для покрытий тротуаров. В свою очередь в зависимости от температуры размягчения вяжущего литые асфальтобетоны подразделяются на два типа.

Тип I изготавливают на битумах с температурой размягчения не ниже 55 °С и укладывают в покрытие при 220 – 240 °С без уплотнения.

Тип II изготавливают на битумах с температурой размягчения не ниже 52 °С и укладывают при 200 – 220 °С с уплотнением вибрирующими органами асфальтоукладчика.

Важнейшей особенностью строительства покрытий из литого асфальтобетона является то, что отпадает необходимость в уплотнении укладываемого

слоя. Лишь в некоторых случаях производится легкое уплотнение подогреваемым разравнивающим брусом асфальтоукладчика. Однако это требует недопущения остывания смеси во время ее транспортирования от смесительной установки к месту укладки. Поэтому транспортирование смесей производят в специальных передвижных котлах вместимостью до 8 т, оборудованных обогревом и устройством для перемешивания.

Доставленная к месту производства работ литая асфальтобетонная смесь выгружается в асфальтоукладчик, которым и укладывается слоем заданной толщины. Возникающие во время укладки дефекты покрытия (раковины, трещины, разрывы, волны) подлежат немедленному устранению: асфальтобетонную смесь удаляют с дефектных участков и заменяют свежей горячей смесью, которую при необходимости заглаживают или прикатывают ручными катками.

Придание поверхности покрытия требуемой шероховатости осуществляется прикаткой черного щебня фракции 5 – 10 мм в количестве 6 – 10 кг/м². Она производится с помощью легких катков сразу же после прохода асфальтоукладчика.

Движение автомобилей по покрытию из литой смеси открывается после достижения им температуры наружного воздуха, но не ранее чем через 5 ч после завершения работ.

Для приготовления литого асфальтобетона применяют вязкие битумы, характеризующиеся температурой размягчения 52 – 65 °С и глубиной проникания иглы: при 25 °С – 22 – 55, а при 0 °С – не менее 10 (битум марок БНД 40/60 и БН 20/40). При отсутствии битумов с такими показателями их приготавливают путем смешения дорожных и строительных битумов в определенных соотношениях.

Роль минерального порошка в литом асфальтобетоне возрастает в сравнении с его ролью в других асфальтобетонах. Качеством минерального порошка и его количеством в большей степени определяются прочность и деформативность асфальтобетона в широком интервале температур. Для повышения теплоустойчивости литого асфальтобетона рекомендуется применять минеральный порошок с содержанием части мельче 0,071 мм более 75 %, его содержание в жестких литых смесях I типа должно быть 18 – 20 %, а в смесях II типа – 14 – 18 %. В связи с повышенным содержанием особое значение приобретает применение активированного минерального порошка, оказывающего большее структурирующее воздействие на битум и снижающего битумоемкость асфальтобетона. В этом случае расход битума может быть снижен на 10 – 15 %.

Требования к песку и щебню для литого асфальтобетона те же, что и при их применении в других асфальтобетонах. В песчаных литых смесях применяют в основном дробленый песок или смесь дробленого и природного песков (50:50).

Примерные зерновые составы минеральной части литого асфальтобетона для проезжей части и тротуаров и содержание в них битума приведены в табл. 26.

**Рекомендуемые зерновые составы минеральной части
литого асфальтобетона**

Область применения	Тип смеси	Содержание зерен, %, мельче, мм								Расход битума по массе сверх 100 %
		10	5	3	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
Покрытие проезжей части	I	100	60 – 72	50 – 55	38 – 45	32 – 38	26 – 32	21 – 26	18 – 20	7,5 – 8,5
	II	100	54 – 60	45 – 50	32 – 28	26 – 32	20 – 26	16 – 21	14 – 18	6,5 – 7,5
Покрытие тротуаров	I	–	95 – 100	75 – 97	47 – 80	35 – 75	25 – 55	17 – 33	9 – 15	7,0 – 8,5
	II	95 – 100	65 – 80	55 – 70	37 – 39	24 – 40	20 – 28	12 – 19	7 – 11	6,0 – 7,5

Физико-механические свойства литого асфальтобетона должны отвечать требованиям, указанным в табл. 27. Приготавливают литые асфальтобетонные смеси в любых асфальтосмесителях принудительного перемешивания, например Д-597А или Д-508-2.

Таблица 27

Требования к литым асфальтобетонам

Показатель	Нормы по типам для покрытий			
	проезжей части		тротуаров	
	I	II	I	II
Остаточная пористость, % по объему, не более	1,0	1,0	–	–
Водонасыщение, % по объему, не более	0,5	1,0	1,5 – 7,0	1,0 – 5,0
Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа, не менее	–	1,0	0,7	0,6

Литой асфальтобетон предназначен для устройства верхнего слоя покрытия на дорогах любой грузонапряженности во II и III дорожно-климатических зонах. Наиболее целесообразно применять этот материал в тех случаях, когда необходимо устраивать покрытия при пониженных температурах воздуха (до минус 10 °С) или когда требуется обеспечить водонепроницаемость покрытия (например, на мостах), а также при устройстве покрытия на цементно-бетонных основаниях.

14.2. Холодный асфальтобетон

Холодный асфальтобетон представляет собой разновидность асфальтового бетона, приготовленного в разогретом состоянии, а укладываемого при температуре наружного воздуха, но не ниже плюс 5 °С. Для его приготовления применяют жидкие битумы классов СГ, МГ и МГО марок 70/130 и 130/200.

Одной из характерных особенностей холодных асфальтобетонных смесей является их способность оставаться в рыхлом состоянии в течение длительного срока после приготовления. Срок хранения холодных смесей зависит от класса примененного в них жидкого битума:

- 2 недели – для смесей, приготовленных с использованием битумов СГ 130/200, МГ 170/200;
- 4 месяца – для смесей, приготовленных с использованием битумов СГ 70/130;
- 8 месяцев – для смесей, приготовленных с использованием битумов МГ 70/130 и МГО 70/130.

Эта особенность холодных асфальтобетонных смесей объясняется наличием тонких битумных пленок на минеральных зернах, вследствие чего микроструктурные связи в смеси настолько слабы, что небольшое усилие приводит к их нарушению. Поэтому холодные смеси с использованием битумов марок 70/130 можно заготавливать в большом количестве в зимнее время, а с наступлением весны укладывать в покрытия.

В связи с использованием маловязких жидких битумов для обеспечения необходимой прочности холодного асфальтобетона в его состав вводится повышенное по сравнению с горячими бетонами количество минерального порошка. Так, если в горячих асфальтобетонах типа В содержание частиц меньше 0,071 мм находится в пределах 8 – 14 %, то в холодных этого же типа В_х – от 12 до 17 %. Несмотря на большее количество минерального порошка, расход битума в холодных смесях меньше. Для смеси типа В_х он составляет от 4 до 6 %, что на 1 – 1,5 % меньше, чем в смеси типа В. Это связано с тем, что распределение вяжущего в холодных смесях происходит более тонкими пленками. Холодные асфальтобетонные смеси приготавливают, как правило, на стационарных асфальтобетонных заводах.

Температура приготовленной смеси на выходе из мешалки должна быть при использовании битумов марки 70/130 – 80 – 100 °С; марки 130/200 – 100 – 120 °С.

Складевать смеси при таких температурах нельзя, так как они сразу же начнут слеживаться вследствие остывания вяжущего. Поэтому перед складированием свежеприготовленную смесь необходимо охладить до температуры 35 – 40 °С. Это достигается при транспортировании массы от смесительной установки на склад ленточными конвейерами или пропусканием ее через вибровоздушную охлаждающую установку, в которую вентилятором подается холодный воздух. Охлаждение возможно также простым рыхлением массы экскаватором в штабелях высотой до 1,5 – 2 м.

Охлаждение смесей перед складированием необходимо для уменьшения их **слеживаемости**. Холодная асфальтобетонная смесь, склонная к слеживанию, утрачивает свое основное преимущество и не может быть использована в холодном состоянии. Слежавшуюся и превратившуюся в трудноразрыхляемые комья смесь нельзя транспортировать к месту работы и тем более укладывать в

покрытие ровным слоем требуемой толщины. Слеживаемость холодных смесей оценивают с помощью специального прибора (рис. 29).

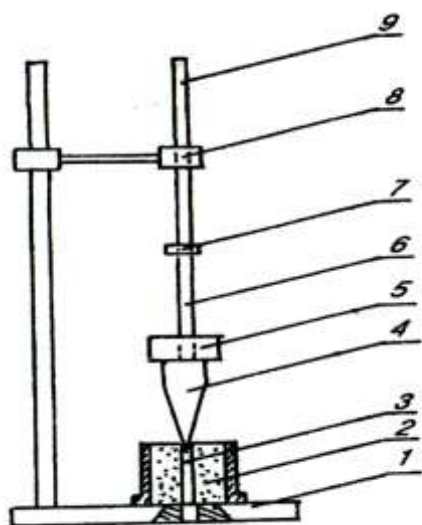


Рис. 29. Прибор для определения слеживаемости холодных асфальтобетонных смесей:

1 – основание; 2 – подставка для образца; 3 – образец смеси; 4 – конусный наконечник; 5 – цилиндрический груз; 6 – штанга; 7 – упорное кольцо; 8 – направляющая втулка; 9 – риска, фиксирующая касание острия конца нижней подставки

Слеживаемость определяют следующим образом. В специальную цилиндрическую форму диаметром 71,4 мм насыпают 440 – 460 г смеси, имеющей температуру при изготовлении. Смесь в форме уплотняют в течение 3 мин под нагрузкой 20 кГс с помощью специального пригруза. В комплект формы входит стальной стержень диаметром 3 мм для образования сквозного отверстия вдоль оси образца. После уплотнения смеси образец осторожно извлекают из формы и оставляют на 4 часа при температуре $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Образец должен иметь высоту 60 мм. Затем его устанавливают на основание прибора, а острие конуса, осторожно направляя рукой, вводят в отверстие. Груз 5 массой 500 г поднимают до упорного кольца 7 (на высоту 200 мм) и опускают. Удары груза по конусу повторяют до полного разрушения образца или до тех пор, пока острие конуса коснется подставки.

За условный показатель слеживаемости принимается количество ударов, необходимое для полного разрушения образца конусом. Слеживаемость холодных смесей должна быть не менее 10. Она зависит от ряда факторов. Установлено, что смеси, содержащие битума на 20 % меньше того количества, которое соответствует максимальной прочности асфальтобетона при сжатии, сохраняют рыхлость и не слеживаются при хранении. Слеживаемость смеси можно также уменьшить путем введения в ее состав специальных добавок в виде водных растворов технических лигносульфонатов (ЛСТМ), нафтенowych мыл, хлорного железа, известкового молока в количестве 2 – 3 % по массе.

В связи с пониженной вязкостью вяжущего и минимальной толщиной битумных пленок холодные асфальтобетонные смеси обладают повышенной уплотняемостью по сравнению со смесями горячей укладки. Уплотняемость холодной смеси оценивают по коэффициенту уплотнения – отношению средних плотностей образцов, уплотненных при разных давлениях:

$$K_{\text{упл}} = \frac{\rho_{40}}{\rho_{0,05}}, \quad (39)$$

где ρ_{40} и $\rho_{0,05}$ – средние плотности образцов, уплотненных в течение 3 мин при температуре 15 – 20 °С под давлением 40 и 0,05 МПа соответственно.

Формирование структуры холодного асфальтобетона происходит за счет уплотнения уложенной в покрытие смеси и повышения вязкости битума вследствие испарения из него разжижителя. Слой холодной смеси уплотняют самоходными катками на пневмоходу или обычными легкими катками массой до 5 т. Это предварительное уплотнение. Окончательное уплотнение происходит под воздействием автомобильного транспорта, пропуск которого регулируют по полосам и направлениям движения. При движении автотранспорта устраняется пористость в асфальтобетоне, образовавшиеся в результате испарения разжижителя. В зависимости от времени года и погодных условий (температура, влажность воздуха, скорость ветра и др.) продолжительность формирования структуры холодного асфальтобетона составляет от нескольких недель до 1,5 – 2 месяцев.

В качестве вяжущего в холодных смесях используют жидкие битумы классов СГ, МГ и МГО. В зависимости от класса использованного битума холодный асфальтобетон подразделяют на две марки: марка I – на битуме марок СГ 70/130 и СГ 130/200 и марка II – на жидких битумах всех классов марок 70/130 и 130/200 (табл. 28).

Таблица 28

**Рекомендуемые марки жидких битумов
для холодных асфальтобетонных смесей**

Дорожно-климатическая зона	Категория автомобильной дороги					
	I, II		III		IV	
	марка смеси	марка битума	марка смеси	марка битума	марка смеси	марка битума
II, III, IV, V	–	–	I	СГ-70/130; СГ 130/200	II	СГ, МГ, МГО 70/130 и 130/200

Для холодного асфальтобетона применяют преимущественно дробленые минеральные материалы, имеющие угловатую форму зерен и шероховатую поверхность. В качестве крупного заполнителя используют щебень, получаемый дроблением скальных пород и металлургических шлаков. Эти материалы должны обладать прочностью при сжатии не менее 80 МПа для асфальтобетона марки I и не менее 60 МПа – для марки II. Песчаный холодный асфальтобетон (типов Г_х и Д_х) приготавливают на природном или дробленом песках или их смесях.

Гранулометрические составы заполнителей для холодных смесей отличаются от составов для горячих смесей по следующим признакам:

- повышенным содержанием минерального порошка;
- количеством щебня, не превышающим 50 % (только смеси типов Б_х и В_х);
- предельной крупностью щебня, не превышающей 20 мм.

Прочность холодного асфальтобетона определяют в образцах-цилиндрах диаметром 71,4 мм или 50,5 мм, отформованных из смесей с температурой 80 – 100 °С при условной вязкости вяжущего 70 – 130 с или 100 – 120 °С – при вязкости 131 – 200 с. Смесь в формах уплотняют под давлением 40 МПа с выдержкой при этом давлении 3 мин. Испытания проводят при температуре 20 °С без прогрева образцов и после прогрева в сушильном шкафу при температуре 90 °С в течение 2 ч при применении жидких битумов класса СГ и 6 ч – классов МГ и МГО. Прогретые образцы испытывают через сутки при температуре 20 °С. Определяют прочность на образцах сухих, после водонасыщения под вакуумом и длительном водонасыщении.

Холодный асфальтобетон со сформировавшейся структурой должен отвечать определенным требованиям (табл. 29).

Водонасыщение асфальтобетонов из холодных смесей должно быть от 5 до 9 % по объему. Однородность холодных смесей оценивается по показателю водонасыщения. Коэффициент вариации этого показателя для обеих марок должен быть не более 0,5.

Проектирование состава холодной асфальтобетонной смеси производят тем же методом, что и горячих.

Таблица 29

Нормативные требования к холодному асфальтобетону

Наименование показателя	Значение показателя для марок и типов			
	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 прогрева:				
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 прогрева:				
сухих	1,8	2,0	1,3	1,5
водонасыщенных	1,6	1,8	1,0	1,2
после длительного водонасыщения	1,3	1,5	0,8	0,9

Пористость минеральной части асфальтобетонов должна быть не более для типов:

Б _х	– 18 %;
В _х	– 20 %;
Г _х и Д _х	– 21 %.

Холодные асфальтобетоны применяют для устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог III и IV категории во II – V дорожно-климатических зонах, а также при производстве ремонтных работ на покрытиях.

Применение холодных асфальтобетонов при устройстве верхних слоев взлетно-посадочных полос, магистральных и прочих рулежных дорожек, мест стоянок и перронов аэродромов не допускается.

14.3. Другие виды асфальтобетона

Асфальтобетоны светлых тонов. Для повышения безопасности движения помимо создания шероховатой поверхности покрытия немаловажное значение имеет осветление асфальтобетона, что благодаря контрастности улучшает видимость в темноте. Для этой цели в асфальтобетонную смесь добавляют зернистые заполнители светлых тонов. Осветление поверхности проезжей части наступает после истирания темной битумной пленки под действием транспорта.

Осветляющие зернистые составляющие получают из природных и искусственных каменных материалов. Среди природных для этих целей пригодны светлые разновидности гранита, сиенита, кварцит, липарит, андезит, мраморовидный известняк и др. Из искусственных материалов применяют доменные шлаки светлых тонов, керамическое стекло (флинт) и др. Важно, чтобы эти материалы были достаточно твердыми, хорошо сопротивлялись истиранию, обладали достаточным сцеплением с битумом.

При использовании литого асфальтобетона осветление достигается втапливанием в неостывший слой асфальтобетона светлых высокосортных высевок с размером зерен от 2 до 5 мм. Лучший эффект при этом дает применение «очерненных» высевок, т.е. предварительно обработанных битумом.

Цветной асфальтобетон в дорожных покрытиях используют для уменьшения утомляемости водителей на прямых участках большой протяженности. Обычно участки с тем или иным цветом покрытия имеют протяженность 5 – 10 км.

Цветные асфальтобетоны получают введением в их состав цветных зернистых материалов (кирпичного щебня, мелкозернистого бесцветного мрамора и др.) и красителей. В качестве красителей используют пигменты типа железного сурика, редоксайда и др. Для увеличения цветной контрастности битум в цветные асфальтобетоны вводят в минимальных количествах.

Кислотостойкий асфальтобетон получают путем подбора минеральной смеси из кислых материалов. Для этого щебень и дробленый песок готовят из кислых разновидностей гранита, диабазы, андезита. Из искусственных материалов используют отходы производства кислотоупорной керамики, клинкерного кирпича и др.

Щелочестойкий асфальтобетон готовят с применением в качестве минеральных составляющих щебня и дробленого песка из основных (ще-

лочестойких) материалов: известняков, доломитов, диабазов, основных доменных шлаков.

Формованный асфальтобетон. В последние годы ведутся работы по изготовлению и монтажу штучных плитных изделий из асфальтобетона. Технология формования плит во многом схожа с формованием сборных железобетонных изделий. Технологический процесс формования плит включает следующие операции: подготовку форм, укладку деревянного каркаса (для обеспечения поперечной жесткости при транспортировании и монтаже) и монтажных петель, укладка и выравнивание горячей асфальтобетонной смеси, ее уплотнение, охлаждение плит, их распалубку и складирование.

Плиты укладывают по стабилизированному полотну на подстилающие слои из щебня, гравийно-песчаной смеси, а также из укрепленных цементом грунтов или других материалов. При этом очень большое значение имеет тщательность подготовки основания.

Применение плит из асфальтобетона при устройстве дорожных покрытий имеет ряд преимуществ. К важнейшим из них относятся:

- внедрение индустриальных методов возведения дорожной одежды;
- организация круглогодичного выпуска асфальтобетонных плит на заводе и за счет этого – ликвидация сезонности дорожно-строительных работ;
- получение асфальтобетона более высокого качества за счет лучшего уплотнения смеси при возможности строгого соблюдения технологических режимов в заводских условиях;
- транспортирование плит на любые расстояния любым видом транспорта.

15. Проектирование состава асфальтобетона

15.1. Методологические основы проектирования

Проектирование состава является одной из основных задач технологии асфальтобетона. Из многих методов проектирования состава наибольшее распространение получил метод, основанный на расчете плотных минеральных смесей. Он разработан в СоюздорНИИ на основе исследований проф. Н.Н. Иванова. Принцип этого метода заключается в том, что прочность и другие свойства асфальтобетонов зависят от плотности минеральной смеси при оптимальном количестве битума.

Проектирование состава асфальтобетона выполняют на основе задания, в котором указываются его назначение, марка и тип смеси. Его осуществляют в следующей последовательности:

- испытание исходных материалов и установление их пригодности для применения в асфальтобетоне требуемого качества;
- расчет состава плотной минеральной смеси;
- определение оптимального количества битума;

– изготовление контрольных образцов из запроектированной смеси и их испытания с целью определения соответствия свойств асфальтобетона требованиям стандарта.

В основе расчета составов плотных минеральных смесей лежит теоретическое положение о том, что такие смеси могут быть получены в том случае, если размер зерен в них уменьшается в два раза, а количество зерен рядом расположенных крупностей – в 0,7 – 0,9 раза.

Наибольший размер зерен минеральной смеси назначается в зависимости от типа асфальтобетона и толщины покрытия. Наименьший размер соответствует крупности частиц минерального порошка – менее 0,071 мм.

Таким образом, зерновой состав плотной смеси обеспечивается при условии

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d_2}{d_3} = \dots = \frac{d_{m-1}}{d_m}, \quad (40)$$

где d_1 и d_m – наибольший и наименьший размеры зерен минеральной смеси.

$$\text{Размер зерен: } d_2 = \frac{d_1}{2}; \quad d_3 = \frac{d_1}{2^2}; \quad d_m = \frac{d_1}{2^{m-1}},$$

откуда

$$m = \frac{\lg d_1 - \lg d_m}{\lg 2} + 1 \quad (41)$$

Число фракций n на единицу меньше числа размеров m :

$$n = \frac{\lg d_1 - \lg d_m}{\lg 2} \quad (42)$$

Соотношение количественных содержаний фракций в массе:

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{q_3}{q_2} = \dots = \frac{q_n}{q_{n-1}} = K, \quad (43)$$

где K – коэффициент сбега.

При $K = 0,8$ получается смесь с наибольшей плотностью. Однако в связи с тем, что минеральные зерна имеют форму, далекую от сферической, на практике получить плотные смеси с таким коэффициентом очень трудно. Поэтому реальные смеси рассчитывают при значениях коэффициента сбега в пределах 0,7 – 0,9.

Количественное содержание каждой фракции в плотной минеральной смеси определяют из соотношений:

Размер фракции	Количественное содержание
$d_1 - d_2$	q_1
$d_2 - d_3$	$q_2 = q_1 K$
$d_3 - d_n$	$q_3 = q_1 K^2$
$d_{m-1} - d_m$	$q_n = q_1 K^{n-1}$

(44)

Сумма масс всех фракций в минеральной смеси должна быть равна 100 %:

$$q_1 + q_1 K + q_1 K^2 + \dots + q_1 K^{n-1} = 100 \quad (45)$$

или

$$q_1(1 + K + K^2 + \dots + K^{n-1}) = 100. \quad (46)$$

Откуда количество первой (самой крупной фракции) в смеси:

$$q_1 = \frac{1 - K}{1 - K^n}. \quad (47)$$

Количественное содержание остальных фракций вычисляют по (47).

По этому принципу рассчитаны составы смесей всех типов с **непрерывным зерновым составом**. В отдельных случаях, если это обосновано экспериментальными данными, смеси типов А и Б могут иметь **прерывистый зерновой состав**, характеризующийся повышенным содержанием песчаных фракций (главным образом 0,63 – 5,0 мм).

Рекомендуемые зерновые составы минеральных смесей для верхних слоев покрытий приведены в табл.30.

Для удобства сопоставления расчетного состава минеральной смеси с рекомендуемым последний представляют графически. В качестве примеров на рис. 30 и 31 даны графические изображения зерновых составов минеральной смеси типа Б с непрерывной и прерывистой гранулометрией.

Зерновые составы минеральной части асфальтобетонов для нижних слоев покрытий и оснований отличаются от приведенных в табл. 30 содержанием зерен мельче 5 мм. Рекомендуемые зерновые составы минеральных смесей для этих асфальтобетонов приведены в табл. 31.

Расчет состава минеральной смеси из имеющихся в наличии каменных материалов выполняют в следующей последовательности. Сначала по графику или таблице определяют содержание щебня в проектируемой смеси, имея в виду, что в щебне содержатся только зерна крупнее 5 мм:

$$q_{щ} = \frac{q_{щ}^{**}}{q_{щ}^*} \times 100, \quad (48)$$

где $q_{щ}$ – содержание используемого щебня в проектируемой минеральной смеси, %; $q_{щ}^*$ – содержание зерен крупнее 5 мм в используемом щебне, %; $q_{щ}^{**}$ – необходимое содержание зерен крупнее 5 мм в смеси, %.

Затем определяют необходимое количество минерального порошка, считая, что он представлен частицами мельче 0,071 мм, которых всегда содержится меньше 100 %. Поэтому содержание используемого минерального порошка должно быть больше:

$$q_{мп} = \frac{q_{мп}''}{q_{мп}'} \cdot 100 \%, \quad (49)$$

Таблица 30

Рекомендуемые зерновые составы минеральной части асфальтобетонных смесей для верхних слоев покрытий

Виды и типы смесей и асфальтобетонов	Количество зерен, %, мельче размера, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
1. Горячие:										
высокоплотные	90-100	70-100 (90-100)	56-100 (90-100)	30-50	24-50	18-50	13-50	12-50	11-28	10-16
	Непрерывные зерновые составы									
плотные типов:										
А	90-100	75-100 (90-100)	62-100 (90-100)	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	—	—	100	70-100	56-82	42-65	30-50	20-36	15-25	8-16
Д	—	—	100	70-100	60-93	42-85	30-75	20-55	15-35	10-16
	Прерывистые зерновые составы									
А	90-100	75- 100	62- 100	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
2. Холодные типов:										
Б _х	90-100	85-100	70-100	50-60	33-46	21-38	15-30	10-22	9-16	8-12
В _х	90-100	85-100	75-100	60-70	48-60	38-50	30-40	23-32	17-24	12-17
Г _х и Д _х	—	—	100	70-100	62-82	40-68	25-55	18-43	14-30	12-20

Примечание. В скобках указаны требования к зерновым составам минеральной части асфальтобетонных смесей при ограничении проектной документацией крупности применяемого щебня

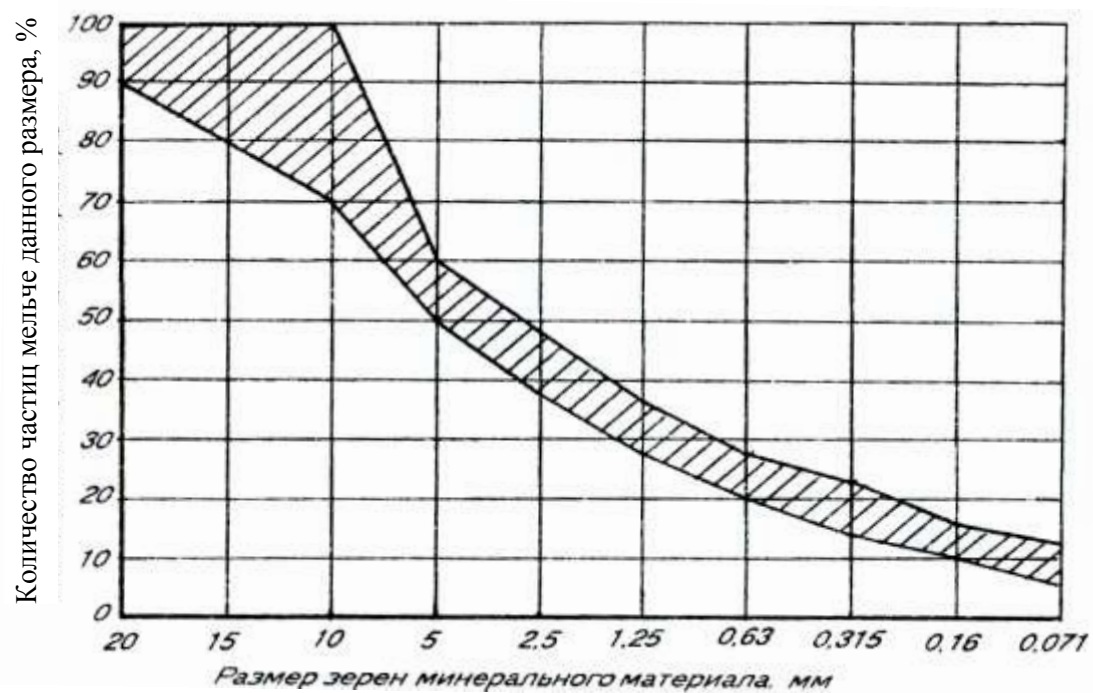


Рис. 30. График непрерывного зернового состава мелкозернистой смеси типа Б для плотного асфальтобетона, применяемого в верхних слоях покрытий

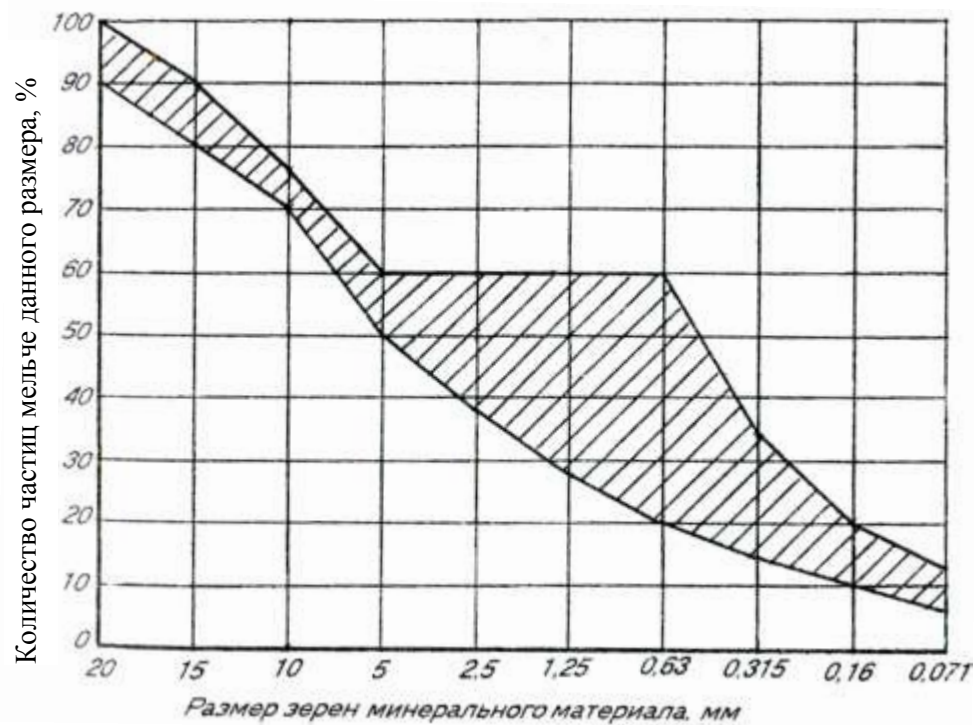


Рис. 31. График прерывистого зернового состава мелкозернистой смеси типа Б для плотного асфальтобетона, применяемого в верхних слоях покрытий

**Рекомендуемые зерновые составы асфальтобетонных смесей
для нижних слоев покрытий и оснований**

Виды и типы смесей и асфальтобетонов	Количество зерен, %, меньше данного размера, мм		
	5,0	0,63	0,071
Плотные типов:			
А	40 – 50	12 – 50	4 – 10
Б	50 – 60	20 – 60	6 – 12
Пористые	40 – 60	10 – 60	2 – 8
Высокопористые:			
щебеночные	40 – 60	10 – 60	4 – 8
песчаные	90 – 100	25 – 85	4 – 10

Примечание. Содержание в щебеночных смесях зерен крупнее 5 мм принимается по табл. 29

где $q_{мн}$ – содержание минерального порошка в смеси, %; $q_{мн}'$ – содержание частиц мельче 0,071 мм в используемом минеральном порошке, %; $q_{мн}''$ – содержание частиц мельче 0,071 мм в смеси, %.

Содержание песчаной фракции (природного песка или смеси природного песка с дробленным) вычисляют, вычитая из 100 % процентные содержания щебня и минерального порошка

$$q_n = 100 - q_{щ} - q_{мп}, \quad (50)$$

Количественные содержания щебня, песка и минерального порошка, определенные по формулам (48) – (50), как правило, не обеспечивают требуемой гранулометрии их смеси. Это обусловлено тем, что на плотность минеральной смеси оказывает влияние не только количественное содержание, но и зерновой состав и форма зерен каждой из них. В связи с этим требуется проверка гранулометрического состава смеси минеральных составляющих на соответствие его составу, рекомендуемому стандартом. Такую проверку производят следующим образом.

Сначала определяют полные проходы через стандартные сита используемых щебня, песка и минерального порошка. Для этого по результатам их рассева определяют полные остатки на каждом сите, а затем полные проходы:

$$П_i = 100 - A_i, \quad (51)$$

где $П_i$ – полный проход материала через i -е сито, %; A_i – полный остаток на i -м сите, %.

Затем вычисляют полный проход через каждое отдельное сито щебня, песка и минерального порошка, взятых в количествах, определенных по формулам (49) – (51) путем умножения прохода через соответствующее сито на расчетную долю материала в смеси. Полные проходы минеральной смеси через каждое сито вычисляют путем суммирования полных проходов через эти сита каждой из составляющей смеси. Полученные данные о проходах смеси через каждое сито сравнивают с рекомендуемыми стандартом. Для удобства сравне-

ния и анализа полные проходы наносят на график рекомендуемого состава. Смесь считается удовлетворяющей рекомендации стандарта в случае, если кривая полных проходов находится между предельными кривыми графика. Если кривая полного прохода выходит за предельные кривые, то состав смеси должен быть откорректирован. Обычно реальная кривая проходов выходит за предельные кривые в области щебня или песка. Поэтому корректировку состава проводят, изменяя содержание в смеси этих составляющих, сохраняя суммарное содержание всех минеральных материалов, равным 100 %, т.е. если потребовалось увеличить долю песка, то при этом доля щебня должна быть уменьшена на ту же величину, и наоборот.

Общие правила корректировки следующие:

- если кривая полных проходов оказалась выше верхней предельной кривой в области песка (фракции 5 – 0,16 мм), то необходимо уменьшить содержание песка, а если ниже – то увеличить;

- если кривая полных проходов оказалась выше верхней кривой в области щебня (фракции 20 – 5 мм), то необходимо увеличить содержание щебня, а если ниже – уменьшить.

После корректировки процентного содержания щебня и песка расчет зернового состава минеральной смеси повторяют и снова наносят полученную кривую полных проходов на график. Эти операции повторяют до тех пор, пока не будет получен желаемый результат.

Часто бывает, что в связи с неудовлетворительным зерновым составом природного песка (чаще всего в них недостаточное содержание зерен крупнее 0,63 мм) получить смесь с удовлетворительной гранулометрией оказывается невозможным. Тогда наряду с природным песком в состав минеральной смеси включают высевки или дробленый песок, которые характеризуются пониженным содержанием мелких фракций (мельче 0,63 мм) и повышенным – крупных (0,63 – 5,0 мм). В этом случае процентное содержание природного и искусственного песка в общем содержании песчаной составляющей смеси определяют с учетом содержания с них зерен мельче 1,25 мм.

При невозможности расчета плотной смеси по предельным кривым непрерывной гранулометрии (отсутствие крупнозернистых природных песков или дробленого песка) минеральная смесь необходимой плотности может быть получена по принципу прерывистой гранулометрии.

После получения минеральной смеси с удовлетворительной гранулометрией приступают к определению оптимальной дозировки битума. Для этого сначала приготавливают пробный замес с расходами битума на 0,3 – 0,5 % меньше нижнего предела, указанного в табл. 32.

Из этого замеса формируют три образца-цилиндра, на которых определяют плотность асфальтобетона, среднюю плотность и пористость минерального остова. При заданной остаточной пористости асфальтобетона (принимают в зависимости от его вида) вычисляют расход битума:

Рекомендуемые расходы битума

Вид смеси	Содержание битума, % по массе
1. Горячие:	
высокоплотные	4,0 – 6,0
плотные типов:	
А	4,5 – 6,0
Б	5,0 – 6,5
В	6,0 – 7,0
Г и Д	6,0 – 9,0
пористые	3,5 – 5,5
высокопористые:	
щебеночные	2,5 – 4,5
песчаные	4,0 – 6,0
2. Холодные типов:	
Б _х	3,5 – 5,5
В _х	4,5 – 6,5
Г _х и Д _х	4,5 – 6,5
– высокопористые ще- беночные	2,5 – 4,0

$$B = \frac{(V_{\text{пор}}^{\text{м}} - V_{\text{пор}}^{\text{о}}) \rho_{\text{б}}}{\rho_{\text{м}}^{\text{м}}}, \quad (52)$$

где $V_{\text{пор}}^{\text{м}}$ – пористость минеральной части образцов, %, (вычисляется по формуле (15));

$V_{\text{пор}}^{\text{о}}$ – заданная остаточная пористость асфальтобетона при 20 °С;

$\rho_{\text{б}}$ – истинная плотность битума, г/см³;

$\rho_{\text{м}}^{\text{м}}$ – средняя плотность минеральной части испытанных образцов асфальтобетона, г/см³ (вычисляется по формуле (16)).

Рассчитав требуемое количество битума, готовят контрольную смесь, из которой формуют три образца и рассчитывают остаточную пористость. Если она соответствует требуемой для данного вида асфальтобетона, готовят еще одну смесь с тем же количеством битума и формуют образцы в необходимом количестве для определения всех физико-механических свойств.

Если остаточная пористость первых трех образцов контрольной смеси меньше или больше требуемой для данного вида асфальтобетона, расчет количества битума и проверку свойств повторяют, при этом в расчете принимают пористость минеральной части асфальтобетона, полученную для контрольной смеси.

Если асфальтобетон с этим количеством битума имеет требуемую остаточную пористость, но по другим показателям (например, по прочности или водостойкости) не соответствует установленным требованиям, необходимо из-

менить зерновой состав минеральной части (как правило, увеличить содержание в ней минерального порошка в допустимых пределах) и повторить расчет оптимального содержания битума.

Подбор состава асфальтобетонной смеси считается завершенным, если пористость минерального остова и остаточная пористость находятся в установленных пределах, а остальные показатели физико-механических свойств удовлетворяют требованиям табл. 24.

15.2. Пример расчета состава минеральной смеси

Необходимо рассчитать состав минеральной смеси для плотного асфальтобетона типа Б. При этом минеральные составляющие характеризуются гранулометрическим составом (табл. 33).

Таблица 33

Зерновой состав исходных минеральных материалов

Минеральный материал	Количество зерен, %, мельче данного размера									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Щебень	100	95	57	5	—	—	—	—	—	—
Песок дроб.	100	100	100	100	76	44	20	12	4	1
Песок речн.	100	100	100	100	100	73	64	40	20	3
Минеральный порошок	100	100	100	100	100	100	100	93	83	74

По рис. 30 находим, что зерен крупнее 5 мм в смеси типа Б должно быть в среднем 45 % (так как через сито № 5 должно проходить в среднем 55 % материала). Поскольку в принятом щебне содержится не 100 %, а 95 % зерен крупнее 5 мм, то щебня требуется:

$$\text{Щ} = \frac{45}{95} 100 = 47 \text{ \%}.$$

Количество минерального порошка в смеси определяют из условия, что в рекомендуемом составе (рис. 30) содержание зерен мельче 0,071 мм должно быть в среднем $(6 + 12):2 = 9 \text{ \%}$. Так как в принятом минеральном порошке таких зерен содержится 74 %, то его количество должно быть:

$$\text{МП} = \frac{9}{74} 100 = 12 \text{ \%}.$$

В связи с тем, что зерна мельче 0,071 мм содержатся и в песках, долю минерального порошка в смеси можно принять на 1 % меньше, т.е. 11 %.

Количество песчаной составляющей (речного и дробленого песков) в смеси:

$$\text{П} = \text{П}_р + \text{П}_д = 100 - (\text{Щ} + \text{МП}) = 100 - (47 + 11) = 42 \text{ \%}.$$

Соотношение между дробленным и речным песком устанавливают с учетом содержания в них наиболее мелких фракций (мельче 1,25 мм). По графику зернового состава смеси находят, что содержание зерен мельче 1,25 мм в ней должно быть $(28+37):2=32,5$ %. Можно принять 32 %, из них 11 % приходится на долю минерального порошка. Следовательно, в тонком песке этих зерен должно содержаться не более $33 - 11=22$ %.

Количество речного песка рассчитывают из соотношения:

$$q_p \cdot P_p / 100 + (P - P_p) \cdot q_d / 100 = 22 \%;$$

$$\frac{q_p P_p}{100} + \frac{P - P_p}{100} \cdot q_d = 22 \quad (53)$$

где q_p – содержание фракции мельче 1,25 мм в речном песке, %; q_d – то же в дробленном песке, %; P_p – содержание речного песка в смеси, %; P – суммарное содержание речного и дробленого песков в смеси, %.

В данном примере: $q_p = 73$ %; $q_d = 44$ %; $P = 42$ %.

$$\text{Тогда } \frac{73 P_p}{100} + \frac{(42 - P_p) 44}{100} = 22 \%$$

Решение этого уравнения относительно P_p дает:

$$P_p = \frac{352}{29} = 12,1 \%$$

Можно принять 12 %. Тогда количество дробленого песка составляет $42 - 12 = 30$ %.

После этого проводят проверку гранулометрического состава (табл. 34).

Таблица 34

Зерновой состав расчетной смеси минеральных материалов

Минеральный материал	Содержание в смеси, %	Количество зерен, %, мельче данного размера									
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Щебень	47	47	45	27	2	–	–	–	–	–	–
Песок дроблен.	30	30	30	30	30	23	13	6	4	1	0,3
Песок речной	12	12	12	12	12	12	9	8	5	2	0,4
Мин. порошок	11	11	11	11	11	11	11	11	10	9	8,1
Всего	100	100	98	80	55	46	33	25	19	12	8,8
Рекомендуемые пределы	100	90 – 100	80 – 100	70 – 100	50 – 60	38 – 48	28 – 37	20 – 28	14 – 12	10 – 16	6 – 12

Сравнение полученных данных с рекомендуемыми стандартом пределами проходов смеси через сита дает положительный результат. Необходима еще

проверка на плавность кривой зернового состава рассчитанной смеси путем нанесения ее на график (рис. 30).

Аналогично рассчитывают состав минеральной смеси прерывистой гранулометрии. Приготавливают пробный замес с содержанием битума на 0,3 % меньше минимально рекомендуемого (табл. 30) 5,0 %, т.е. 4,7 %. Отформованные из этой смеси образцы имеют плотность $\rho_m = 2,30 \text{ г/см}^3$.

При истинной плотности $\rho^m = 2,68 \text{ г/см}^3$, битума – $1,0 \text{ г/см}^3$ средняя плотность минеральной смеси

$$\rho_m^m = \frac{2,32 \cdot 100}{100 + 4,7} = 2,22 \text{ г/см}^3.$$

Пористость минерального остова

$$V_{\text{пор}}^m = \left(1 - \frac{2,22}{2,68}\right) 100 = 17,2 \%$$

При заданной остаточной пористости плотного асфальтобетона $V_{\text{пор}}^0 = 4 \%$ расход битума составляет:

$$Б = \frac{(17,2 - 4) \cdot 1}{2,22} = 5,9 \%$$

С этим расходом битума приготавливают асфальтобетонную смесь для формирования контрольных образцов, на которых определяют остаточную пористость по формуле (18). Если она окажется в пределах 2,5 – 5,0 % (как требуется для плотных асфальтобетонов), готовят с таким же количеством асфальтобетонную смесь, формуют 12 образцов и испытывают по ранее описанным методам. Полученные результаты сравнивают с требованиями ГОСТ 9128-97.

16. Контроль качества приготовления и укладки асфальтобетонных смесей

Качество асфальтобетона зависит от множества факторов, каждый из которых может оказать решающее влияние на прочность и долговечность дорожного покрытия. Поэтому хорошо налаженный контроль свойств исходных материалов, соблюдение оптимальных технологических режимов на всех этапах приготовления, укладки, уплотнения и формирования структуры являются гарантией стабильности асфальтобетона в покрытии.

Контроль качества выпускаемых асфальтобетонных смесей осуществляют отделы технического контроля или лаборатории асфальтобетонных заводов. В систему контроля входят:

- входной контроль качества поступающих на завод материалов для приготовления смесей;
- операционный контроль технологических операций;
- выходной контроль качества готовых смесей.

Входной контроль. Качество поступающих на АБЗ минеральных материалов и вяжущих регламентируется ГОСТами и отмечается в паспортах и сертификатах на эти материалы, выдаваемые предприятиями-изготовителями. Тем

не менее заводские лаборатории проводят испытания этих материалов по основным показателям.

Особо тщательный контроль должен осуществляться за качеством тех материалов, которые поступают на завод не в порядке централизованного снабжения, т.е. со специализированных предприятий, а которые получают непосредственным дроблением или помолом в цехах асфальтобетонного завода.

Качество щебня (гравия) проверяют испытанием средней пробы, отобранной от каждой поступающей на завод партии материала. Контролируемыми показателями щебня являются: петрографическая характеристика, гранулометрический состав, прочность, износ в полочном барабане, содержание пластинчатых (лещадных) зерен, пылевидных и глинистых примесей, морозостойкость. По этому же перечню показателей контролируют качество щебня, получаемого на дробильно-сортировочном комплексе АБЗ. В этом случае дополнительно могут определяться плотность и пористость исходного камня, прочность его в водонасыщенном состоянии, содержание слабых и выветрелых зерен в гравии.

Качество песка проверяют испытанием средней пробы, отбираемой от каждой поступившей партии. Основными показателями поступающего на завод песка, подлежащими контролю, являются: петрографическая характеристика, гранулометрический состав, содержание пылевидных, глинистых и органических примесей.

Качество минерального порошка оценивают по показателям таких свойств, как гранулометрический состав, битумоёмкость, набухание, пористость и петрографическая характеристика.

Качество поступающего на завод битума контролируют в каждой партии. Определяют следующие показатели свойств: глубину проникания иглы пенетрометра, растяжимость, температуру размягчения, потерю массы и изменение температуры размягчения при прогреве. Жидкий битум проверяют на условную вязкость в стандартном вискозиметре, фракционный состав, температуру вспышки и свойства вязкого остатка после выпаривания разжижителя (пенетрация, растяжимость, температура размягчения).

При приготовлении битумов на АБЗ или введении в них различных добавок испытания проводят по полному перечню показателей.

Получаемые при испытаниях показатели качества материалов сравнивают с требованиями, содержащимися в соответствующих стандартах или паспортах завода-изготовителя.

При несоответствии полученных показателей указанным в паспортах необходимо немедленно об этом поставить в известность завод-поставщик для принятия им оперативных мер по доведению качества продукции до требуемого уровня. В случае разногласий материал, не выдержавший испытания в заводской лаборатории, может быть передан для испытания в независимой аккредитованной лаборатории. Если разногласия между потребителем и поставщиком некачественной продукции не находят разрешения между ними, окончательное решение принимается в арбитражном суде.

Операционный контроль осуществляется на всех этапах технологического процесса, так как из хороших исходных материалов можно получить некачественную асфальтобетонную смесь и асфальтобетон из нее.

Операционный контроль осуществляют:

- на стадиях сушки щебня и песка и разогрева вяжущего;
- при грохочении разогретых щебеночно-песчаных смесей;
- на стадиях дозирования составляющих в смесительную установку;
- при перемешивании составляющих.

На стадии сушки и разогрева песка и щебня контролируют их влажность на входе в сушильный барабан и выходе из него. При подаче этих материалов на сушку контролируют их соотношение, которое регулируется питателями, дозирующими щебень и песок в сушильный барабан.

В процессе сушки вся влага из заполнителей должна быть удалена, а их температура на выходе из сушильного барабана должна соответствовать установленной технологическим регламентом на изготовление асфальтобетонной смеси. При отклонении действительной температуры от заданной в меньшую сторону ухудшаются условия для обволакивания зерен заполнителей вяжущим, а в большую – возможны опасность перегрева вяжущего в смесителе и недопустимо высокая температура готовой смеси.

При разогреве вяжущего в битумоплавильных котлах контролируют температуру и продолжительность пребывания его в разогретом состоянии. Перегрев вяжущего, так же как и длительное пребывание его в разогретом до требуемой температуры состоянии, отрицательно сказывается на его свойствах: вследствие испарения легких фракций углеводородов и окислительных процессов изменяется групповой состав вяжущего и таким образом в асфальтобетонной смеси оно оказывается не с теми свойствами, которые имело при испытании в лаборатории.

На стадии грохочения разогретой щебеночно-песчаной смеси контролируют однообразие отделяющихся фракций. Бывает так, что в отсек с более крупным щебнем попадает более мелкий, который не был своевременно отделен от остальной щебеночной массы. Такое явление наблюдается либо при чрезмерно обильном поступлении щебеночно-песчаной смеси из сушильного барабана, либо вследствие неполадок с грохотом – велика скорость его оборотов, недостаточна длина секций грохота, велик угол наклона грохота к горизонту и др.

Неполное разделение щебеночно-песчаной смеси на отдельные фракции приводит к существенному отклонению гранулометрического состава минеральной смеси в асфальтобетоне, что отрицательно влияет на его свойства: прочность, пористость, долговечность и др.

На стадии дозирования осуществляют систематическую проверку дозирующих устройств и точность дозирования исходных материалов в соответствии с утвержденным составом асфальтобетонной смеси.

При приготовлении асфальтобетонной смеси контролируют продолжительность перемешивания минеральных составляющих, а после добавления битума – продолжительность перемешивания асфальтобетонной смеси. Необходи-

димо, чтобы готовая смесь была хорошо promешана, не имела комков, сгустков битума, минеральных зерен, не покрытых битумными пленками.

Выходной контроль включает приемосдаточные испытания и периодический контроль.

Приемосдаточные испытания выполняют для каждой партии асфальтобетонной смеси, отгружаемой потребителю. За партию принимается количество горячей асфальтобетонной смеси одного состава, выпускаемое на одной установке в течение смены, но не более 600 т. Для холодных смесей размер одной партии не превышает 200 т.

В зависимости от производительности смесительной установки с интервалом от 15 до 30 мин сразу после выгрузки из смесителя отбирают 3 – 4 точечные пробы, которые затем усредняют. Количество смеси в каждой точечной пробе зависит от наибольшей крупности минеральных зерен и вида асфальтобетона и колеблется от 2,5 до 17 кг.

Из усредненной пробы готовят образцы для испытания по следующим показателям:

- температура отгружаемой смеси при выпуске из смесителя или накопительного бункера;
- зерновой состав минеральной части смеси (отмывкой вяжущего растворителем или другим способом);
- водонасыщение;
- предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, в том числе в водонасыщенном состоянии холодной смеси;
- слеживаемость холодных смесей (2 – 3 раза в смену).

Периодический контроль асфальтобетонных смесей осуществляют не реже одного раза в месяц, а также при каждом изменении материалов, применяемых при приготовлении смесей.

При периодическом контроле смесей определяют:

- пористость минеральной части;
- остаточную пористость асфальтобетона;
- водостойкость при длительном водонасыщении;
- предел прочности при сжатии при температуре 20 °С после прогрева и длительного водонасыщения для холодных смесей;
- предел прочности при сжатии при 0 °С для горячих смесей;
- сцепление битума с минеральной частью смесей.

Удельную эффективную активность естественных радионуклидов в смесях и асфальтобетоне принимают по максимальной величине активности естественных радионуклидов, содержащихся в применяемых минеральных материалах. Эти данные указывает в документе о качестве предприятие-поставщик. В случае отсутствия данных о содержании естественных радионуклидов изготовитель асфальтобетонных смесей обязан осуществить входной контроль по этому показателю в специализированной лаборатории в соответствии с ГОСТ 30108.

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от значения суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов ($A_{эфф}$) в применяемых

минеральных материалах используют при $A_{\text{эфф}}$ до 740 Бк/кг – для строительства дорог и аэродромов без ограничений, от 740 до 2800 Бк/кг – для строительства дорог вне населенных пунктов и зон перспективной застройки.

Контроль на стадиях укладки и уплотнения заключается в проверке температуры доставленной к месту смеси, толщины укладываемого слоя и качества уплотнения.

Толщина слоя выдерживается с учетом коэффициента уплотнения – 1,15 – 1,2 – для горячей и 1,6 – 1,7 – для холодной смеси. На стадии укладки важно соблюдать скорость движения катков: статического действия – не более 3 – 5 км/ч, вибрационного – 2 – 3 км/ч. Наблюдение производится также за снижением температуры уплотняемого слоя смеси, особенно в холодную и ветренную погоду. Важно не допустить длительного пребывания уложенной, но не уплотненной смеси до укатки. Так, если рыхлая смесь, разложенная ровным слоем, остывает летом со скоростью 1 – 5 °С/мин, то та же смесь после начала уплотнения катками охлаждается со скоростью только около 0,5 °С/мин.

Контроль качества асфальтобетона в покрытии осуществляют путем сравнения его свойств в образцах, изготовленных из высверленных цилиндрических кернов или вырубленного асфальтобетона, со свойствами переформованных образцов. Диаметр кернов должен быть не менее 50 мм для проб из песчаного асфальтобетона, 70 мм – мелкозернистого и 100 мм – крупнозернистого. Из вырубки выпиливают три образца с ненарушенной структурой. На непереформованных образцах определяют среднюю плотность, водонасыщение, набухание и коэффициент уплотнения.

Переформованные образцы изготавливают после прогрева вырубок и кернов на песчаной бане или в термостате при требуемой температуре, соответствующей вязкости использованного вяжущего, измельчения и последующего уплотнения в цилиндрических формах под давлением 40 МПа.

Коэффициент уплотнения K_y вычисляют как отношение средней плотности образца из конструктивного слоя к средней плотности переформованного образца. Коэффициент уплотнения должен быть не менее установленного нормативно-технической документацией. При значительных отклонениях свойств переформованных и проектных образцов производят проверку состава асфальтобетона, находящегося в покрытии путем экстрагирования (растворения) битума и рассева минеральной части.

17. Регенерация асфальтобетона

В результате воздействия механических и климатических факторов на асфальтобетон в покрытиях происходит изменение его строительно-технических характеристик, делающее невозможным дальнейшую безопасную их эксплуатацию. Как уже отмечалось, разрушение асфальтобетона на-

чинается с верхнего наружного слоя покрытия и характеризуется сначала образованием трещин вокруг зерен щебня, последующим выкрашиванием этих зерен и распространением коррозионных процессов в глубь покрытия. Разрушение покрытий может происходить и вследствие недостаточной жесткости оснований.

Подверженные таким разрушениям покрытия требуют сначала текущего и среднего, а затем капитального ремонта. Традиционные методы ремонта покрытий сводятся главным образом либо к устройству слоя поверхностной обработки, либо укладке нового слоя из свежей асфальтобетонной смеси. В результате этого первоначально уложенное асфальтобетонное покрытие оказывается захороненным и по сути дела становится дополнительным слоем основания, т.е. практически бесполезным.

Однако асфальтобетон в отслужившем свой срок покрытии может быть повторно использован после его **регенерации**, заключающейся в восстановлении его деформативной способности путем увеличения пластичности. Это достигается за счет введения в состав старого асфальтобетона свежей асфальтобетонной смеси или пластифицирующих добавок: антраценового масла, госсипиловой смолы, экстрактов селективной очистки нефтяных масел и др.

В настоящее время применяют два способа регенерации асфальтобетона: непосредственно на полотне дороги и в стационарных установках.

Для восстановления асфальтобетонного покрытия на дороге используют специальные передвижные установки. Перемещаясь вдоль восстанавливаемого покрытия, такая установка с помощью инфракрасных нагревателей прогревает покрытие до 180 – 200 °С и фрезами разрыхляет поверхностный слой на глубину 4 – 6 см. Разрыхленный слой разравнивается, к нему добавляют небольшое количество свежей асфальтобетонной смеси, после чего предварительно уплотняют вибробрусом, а затем окончательно – катками.

Регенерация асфальтобетона в стационарной установке заключается в следующем. Старое асфальтобетонное покрытие взламывают и дробят до кусков не крупнее 40 см. Доставленный к установке асфальтобетонный лом загружают в двухбарабанную печь, где он разогревается до температуры 160 – 170 °С. Туда же добавляют в необходимых количествах щебень и песок, а также пластифицирующие добавки. Разогретая асфальтобетонная смесь поступает на грохот, где из нее отделяются включения крупнее 40 мм. Регенерированная смесь после грохота поступает в бункер-накопитель, а из него – в автомобиль и транспортируется к месту укладки.

Регенерированные в установках смеси должны соответствовать свойствам пористого асфальтобетона и приближаться по свойствам к плотному асфальтобетону типов А и Б III марки. Их применяют для устройства нижних слоев двухслойных покрытий, в верхних покрытиях дорог местного значения, автомобильных стоянок и тротуаров.

18. Битумоминеральные и битумогрунтовые смеси

В дорожном строительстве наряду с асфальто- и дегтебетонами находят применение битумоминеральные и битумогрунтовые смеси, а также черный щебень. Для их приготовления используют, как правило, местные минеральные материалы, что делает их экономически выгодными. В связи с более низким качеством минеральных составляющих эти материалы имеют ограниченное применение: для укрепления и устройства оснований, в нижних слоях двухслойных покрытий на дорогах высокой категории, а также в некоторых случаях для устройства слоев износа и верхних покрытий на дорогах низкой категории.

Битумоминеральные смеси представляют собой материал, приготовленный смешением в смесительных установках в нагретом состоянии щебня или гравия, песка (природного или дробленого), минерального порошка и битума, взятых в определенных соотношениях. Прочность щебня в данном случае должна быть не менее 60 МПа для изверженных и метаморфических пород и не менее 30 МПа – для осадочных. Предъявляются и более низкие требования к нему по износу в полочном барабане. В качестве минерального порошка допускается применение тонкодисперсных минеральных отходов промышленности: золы-уноса от сжигания низкосортных углей, пыли уноса цементных заводов, отхода асбестоцементного производства и др.

В зависимости от крупности зерен щебня или гравия битумоминеральные смеси, так же как и асфальтобетонные, подразделяются на крупнозернистые с размером зерен до 40 мм, среднезернистые – до 20 мм, мелкозернистые – до 15 или 10 мм и песчаные. По температуре укладки эти смеси делятся на горячие, теплые и холодные (табл. 35).

Таблица 35

Классификация битумоминеральных смесей по температуре укладки

Виды смесей	Марки битумов	Температура смеси, °С, при укладке, не ниже
Горячие	БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130	120
Теплые	ДНД 130/200, БНД 200/300	80
	СГ 130/200, МГ 130/200, МГО	50
Холодные	130/200	10
	СГ 70/130, МГ 70/130, 70/130	

Горячие и теплые смеси подразделяют на плотные и пористые. Пористые могут приготавливаться без минерального порошка. Плотные битумоминеральные смеси должны отвечать следующим требованиям: предел прочности при

сжатии при 20 °С – не менее 2,5 МПа, при 50 °С – не менее 1,0 – 1,2 МПа; коэффициент водостойкости – не ниже 0,85, водонасыщение – 3 – 6 %, остаточная пористость – 4 – 8 %. Для них характерно повышенное содержание щебня (до 60 – 65 %) и пониженное содержание минерального порошка. В связи с этим в них формируется контактная структура, обеспечивающая повышенную сдвигоустойчивость покрытий на дорогах с большими уклонами.

Битумогрунтовые смеси приготавливают путем смешивания природных гравийных, гравийно-песчаных или песчаных смесей с вязкими или жидкими битумами и битумными эмульсиями. При неудовлетворительном гранулометрическом составе природных минеральных материалов к ним добавляют песок, щебень или гравий.

В зависимости от наличия или отсутствия крупнозернистых фракций эти смеси подразделяют на скелетные и нескелетные.

Скелетные смеси приготавливают из грунтов, содержащих щебень или гравий, смешением их с жидким битумом на полотне дороги.

Нескелетные смеси получают путем смешивания песков, супесей и иногда суглинков с вязкими и жидкими вяжущими и эмульсиями. При использовании песков к ним добавляют до 25 – 30 % пылеватых фракций грунта.

Применяют битумогрунтовые и дегтегрунтовые смеси для устройства оснований и покрытий на дорогах с небольшой интенсивностью движения.

Черный щебень представляет собой однофракционный щебень, обработанный вязким или жидким битумом. По крупности зерен черный щебень делят на крупный размером 25 – 40 мм, средний – 15 – 25 мм и мелкий – 5 – 10 мм. Для обработки щебня требуется от 2 до 4 % вяжущего по массе.

В зависимости от температуры укладки черный щебень подразделяют:

- на горячий, изготавливаемый на битумах марок БНД 60/90, БНД 90/130 и укладываемый при его температуре 120 – 140 °С;
- теплый, изготавливаемый на битумах марок БНД 130/200, БНД 90/300, СГ 130/200 и укладываемый при температуре 50 – 80 °С;
- холодный, изготавливаемый на жидких битумах марок МГ 70/130, МГО 70/130, МГ 130/200, МГО 130/200 и укладываемый в холодном состоянии в сухую погоду при температуре воздуха 10 – 25 °С.

Приготавливают черный щебень в смесительных установках с принудительным или свободным перемешиванием. Применяют его для сооружения покрытий и оснований, а также при ремонте дорожных покрытий.

Литые эмульсионно-минеральные смеси (ЛЭМС), называемые также шламами, представляют собой смеси литой консистенции, приготавливаемые на основе катионактивных битумных эмульсий или паст путем обработки ими мелкозернистых минеральных материалов (промытый песок, чистые высевки иногда с добавлением небольшого количества мелкозернистого щебня) с добавлением воды.

Приготавливают эмульсионно-минеральные смеси по одно- и двухстадийной технологии.

При одностадийном способе в мешалку при непрерывном перемешивании вводят отдозированный порошкообразный эмульгатор (гашеная известь, цементная пыль и др.), минеральный порошок, песок и часть воды (70 – 80 % от всей воды шлама). После их перемешивания в течение 20 – 30 с добавляют нагретый до рабочей температуры битум и снова перемешивают в течение 90 – 120 с, после чего вливают оставшуюся воду и перемешивают еще 20 – 40 с до полной готовности смеси.

При двухстадийном способе сначала приготавливают битумную пасту в мешалке, а затем в нее добавляют песок и воду и перемешивают до получения готовой смеси.

Применяют шламы при устройстве защитных слоев, для быстрого закрепления и ремонта преимущественно облегченных покрытий, обработанных органическим вяжущим, с шелушащейся или выкрашивающейся поверхностью путем распределения их ровным слоем без уплотнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Органические вяжущие для дорожного строительства / С.К. Илиополов [и др.]: учеб. пособие для вузов по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы». Ростов н/Д: Юг, 2003.
2. *Бонченко Г.А.* Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером. – М.: Машиностроение, 1994.
3. Дорожно-строительные материалы: учебник для автомобильно-дорожных институтов / И.М.Грушко [и др.]. – М.: Транспорт, 1983.
4. Дорожный асфальтобетон / Н.Н.Иванов [и др.] / под ред. Л.Б.Гегенцвея. – М.: Транспорт, 1976.
5. Материалы и изделия для строительства дорог: справочник / под ред. Н.В.Горелышева. – М., 1986.
6. *Печеный Б.Г.* Долговечность битума и битумоминеральных покрытий. – М.: Стройиздат, 1981.
7. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85)/ СоюздорНИИ. – М.: Стройиздат, 1989.
8. *Руденский И.А.* Дорожные асфальтобетонные покрытия. – М.: Транспорт, 1992.
9. ГОСТ 11955-82. Битумы нефтяные дорожные жидкие. Технические условия.
10. ГОСТ 22245-95. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.
11. ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия.
12. ГОСТ Р 52128-2003. Эмульсии битумные. Технические условия.
13. ГОСТ 9128-2009. Смесии асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.
14. ГОСТ 31015-2002. Смесии асфальтобетонные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные. Технические условия.
15. ГОСТ 30491-97. Смесии органо-минеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.
16. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Органические вяжущие вещества: определение, классификация, состав и строение.....	5
1.1. Определение и классификация.....	5
1.2. Групповой состав органических вяжущих материалов.....	6
1.3. Строение битумов.....	8
2. Вязкие нефтяные битумы.....	9
2.1. Остаточные битумы и асфальтосмолистые продукты перегонки нефти	9
2.2. Окисленные битумы.....	11
2.3. Компаундированные битумы.....	12
2.4. Свойства вязких нефтяных битумов.....	13
2.5. Применение вязких нефтяных битумов.....	24
3. Жидкие нефтяные битумы.....	24
3.1. Получение жидких битумов.....	24
3.2. Свойства жидких битумов.....	25
3.3. Применение жидких битумов.....	28
4. Природные и сланцевые битумы.....	29
4.1. Природные битумы.....	29
4.2. Сланцевые битумы.....	30
5. Взаимодействие битума с минеральными материалами.....	30
6. Модификация органических вяжущих материалов.....	33
6.1. Классификация модифицирующих добавок.....	33
6.2. Модифицирование битумов полимерами.....	36
7. Дорожные эмульсии.....	40
7.1. Приготовление эмульсий.....	40
7.2. Свойства эмульсий.....	43
7.3. Применение эмульсий.....	46
8. Перевозка и хранение органических вяжущих материалов.....	47

9. Асфальтобетоны	48
9.1. Классификация асфальтобетонов	48
9.2. Материалы для асфальтобетонов	51
9.2.1. Требования к щебню (гравию) и методы оценки его свойств	51
9.2.2. Требования к песку и методы оценки его свойств	56
9.2.3. Требования к минеральному порошку и методы оценки его свойств	57
10. Основы технологии приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей	61
10.1. Выбор и подготовка исходных материалов	62
10.2. Приготовление асфальтобетонных смесей	63
10.3. Укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей	67
11. Структура асфальтобетона	68
12. Свойства асфальтобетона	74
12.1. Структурные характеристики асфальтобетона	74
12.2. Деформационные свойства асфальтобетона	76
12.3. Прочность асфальтобетона	81
13. Долговечность асфальтобетона	87
14. Разновидности асфальтобетонов	93
14.1. Горячий асфальтобетон	93
14.2. Холодный асфальтобетон	99
14.3. Другие виды асфальтобетона	104
15. Проектирование состава асфальтобетона	105
15.1. Методологические основы проектирования	105
15.2. Пример расчета состава минеральной смеси	113
16. Контроль качества приготовления и укладки асфальтобетонных смесей	115
17. Регенерация асфальтобетона	119
18. Битумоминеральные и битумогрунтовые смеси	120
Литература	124

Учебное издание

Кандидат технических наук
Юндин Александр Николаевич

**БИТУМИНОЗНЫЕ
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

Темплан 2011 г., поз. 29

Редактор *Т.М. Климчук*

Компьютерная верстка и макет *Н.П. Соловьевой*

Подписано в печать 29.12.11. Формат 60×84 /16. Бумага писчая. Ризограф.
Уч.-изд. л. 10,00. Усл.-печ. л. 7,4. Тираж 100 экз. Заказ 113/12

Редакционно-издательский центр
Ростовского государственного строительного университета
344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162