



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Автомобильные дороги»

Методические указания
к выполнению лабораторных работ для
бакалавров очной и заочной форм обучения
по дисциплине

«Современные материалы в строительстве»

Авторы
Чернов С.А., Ширяев Н.А.,
Еременко Е.А.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Современные материалы в строительстве: методические указания для выполнения лабораторных работ для подготовки бакалавров направления 08.05.01. «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Современные материалы в строительстве», для выполнения лабораторных работ.

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Автомобильные дороги»

Чернов С.А.

младший научный сотрудник

Ширяев Н.А.

младший научный сотрудник

Еременко Е.А.



Оглавление

Лабораторная работа № 1 Применение полимеров для получения органических вяжущих с заданными свойствами.....	4
Лабораторная работа № 2 Определение физико-механических характеристик битумно-полимерных вяжущих.....	14
Лабораторная работа № 3 Методы испытаний эмульсий и эмульсионно-минеральных смесей	19
Лабораторная работа № 4 Подбор составов модифицированных асфальтобетонных смесей и методы испытаний.....	26
Лабораторная работа № 5 Современные методы испытаний асфальтобетонов Метод определения стойкости к колееобразованию	37

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Выбор полимера модификатора определяется во многом физическим состоянием полимера (соотношением областей высокоэластичного и стеклообразующего состояния по термомеханической кривой). Чем больше температурный интервал высокопластичного состояния полимера, тем выше способность модификатора обеспечивать стабильность свойств вяжущего в широком интервале температур.

Первыми полимерными модификаторами являются **каучуки (или эластомеры)**. Свыше 100 лет их используют в битумных композициях для придания последним эластичности и, следовательно, для повышения эксплуатационной надежности. Вплоть до настоящего времени, для приготовления полимер-битумного вяжущего (ПБВ) важное практическое значение имеют именно эластомеры. Эффективными модифицирующими агентами являются различные их типы. В литературе чаще всего встречаются наиболее изученные из них: натуральный каучук (НК), сополимеры бутадиена и стирола (СБС) и полихлоропрен (неопрен). Меньше опубликовано данных об использовании сополимеров бутадиена с нитрилом (нитрильный каучук), изобутилена с изопреном (бутилкаучук). Используемые в качестве добавок в битум полимерные материалы подразделяются на несколько групп:

- *каучукоподобные полимеры* – эластомеры (натуральный и синтетический каучук, бутил-каучук, этилен-пропиленовый каучук, бутадиенстирольные хлоропреновые каучуки, полиизобутилен, девулканизированная резиновая крошка);
- *различные латексы* (дивинилстирольные, дивинилнитрильные и жидкие силоксановые каучуки);
- *термопластичные пластмассы* (полиэтилен и полипропилен, полиметилметакрилат, полистирол, поливинилхлорид);
- *термореактивные полимеры* (фенолформальдегидные и эпоксидные смолы);
- *термопластичные полимеры* (дивинилстирольный, дивинилметастирольный, изопренстирольный блок – сополимеры).

Различают термопласты с линейным строением молекул, цепи которых состоят из простых неразветвленных атомов углерода и с разветвленными. Линейным строением молекул объясняется также способность термопластов не только набухать, но и хорошо растворяться в правильно подобранных растворителях. Тип растворителя зависит от химической природы полимера. Растворы полимеров, даже очень небольшой консистенции (2...5%), отличаются довольно высокой вязкостью, причиной этого являются большие размеры полимерных молекул по сравнению с молекулами обычных низкомолекулярных веществ. После испарения растворителя, полимер вновь переходит в твердое состояние. На этом основано использование растворов термопластов в качестве лаков, красок, клеев и вяжущего компонента в мастиках и полимерных растворах.

К недостаткам термопластов относятся низкие теплоустойчивость (обычно не выше 80...120°C), низкая поверхностная твердость, хрупкость при пониженных температурах и текучесть при высоких, склонность к старению под действием солнечных лучей и кислорода воздуха.

Наибольшее применение в дорожном строительстве имеют следующие термопластичные полимеры: полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, перхлорвинил, поливинилацетат и поливиниловый спирт, полиизобутилен, полиакрилаты.

Полиэтилен $(-CH_2-CH_2-)_n$ представляет собой высокомолекулярный термопластичный полимер, получаемый полимеризацией этилена. В зависимости от способа производства, а, следовательно, давления, при котором протекает полимеризация этилена, в промышленном масштабе выпускают полиэтилен двух видов: низкой и высокой плотности.

Полиэтилен низкой плотности получают при давлении 150-250 МПа и температуре 300°C в присутствии небольшого количества инициаторов радикальной полимеризации (в основном, кислорода или перекисных соединений). Он имеет плотность $\rho=920...930$ кг/м³, выпускается в виде гранул размером 2...5 мм без добавок (базовые марки) и с добавками – красителями, стабилизаторами. В зависимости от марки полиэтилен низкой плотности имеет предел прочности при растяжении 12...16 МПа, относительное удлинение при растяжении в пределах 150...600 % (табл. 5.5), морозостойкость до -70°C.

Полиэтилен высокой плотности получают при давлении 0,1...0,4 МПа, температуре 70-80°C в среде жидких углеводородов,

например, в низкокипящем бензине. Полиэтилен высокой плотности производят и при среднем давлении (3,5...4,0 МПа), заменяя металлоорганические катализаторы окислами металлов переменной валентности (Cr, Mo, V) на инертных носителях. Полиэтилен высокой плотности имеет плотность 935...970 кг/м³, выпускается без добавок – базовые марки и с добавками антикоррозийными, светостабилизаторами, термостабилизаторами и др. Базовые марки полиэтилена выпускают в виде порошка, а композиции

полиэтилена с добавками в виде гранул (2...5мм) или порошка. В зависимости от марки полиэтилен высокой плотности имеет предел прочности при растяжении 22...45 МПа, относительное удлинение при растяжении 200...800%, морозостойкость – 60°C. В структурном плане молекула полиэтилена состоит из длинной цепи метиленовых групп CH₂ и боковых разветвлений, заканчивающихся метильными группами CH₃. С увеличением количества метильных групп понижается плотность и степень кристалличности полимера. Теплофизические свойства полиэтилена приведены в таблице 1. Температура плавления увеличивается с повышением плотности полиэтилена. Диапазоны температур, в которых могут эксплуатироваться изделия из полиэтилена: -60...+70°C – для полиэтилена низкой плотности; -60...+100°C – для полиэтилена высокой степени плотности.

Таблица 1 – Теплофизические свойства полиэтилена

Показатель	Полиэтилен низкой плотности	Полиэтилен высокой плотности низкого давления
Температура плавления, °C	108-120	125-137
Теплопроводимость, Вт/(м·°C)	0,29	0,42
Удельная теплоемкость при 25°C, кДж/(кг·°C)	2,1-2,9	2,1-2,5
Объемное расширение, %, при температуре:		
50°C	1,3	1,2
100°C	10,0	3,8
150°C	18,3	21,0
Морозостойкость, °C	-70 и ниже	-70 и ниже

Полипропилен ($-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-$)_n – полимер близкий к полиэтилену. При синтезе полипропилена образуется несколько разных по строению полимеров: изотактический, атактический и синдиотактический. Выпускается порошкообразным или гранулированным нескольких марок в зависимости от назначения: от ПП-1 до ПП-5. Их прочность на разрыв не менее 25 МПа, относительное удлинение – соответственно от 100 до 400%. Степень кристалличности его 90...95%, молекулярная масса – до 500 тыс., прозрачен, нетоксичен, дешевле многих других термоэластопластов. Морозостойкость у ПП-1 равна -5°C , у ПП-2 и ПП-3 равна -10°C , у ПП-4 и ПП-5 равна -15°C . Полипропилен отличается высокой температурой плавления, при этом до 150°C полностью сохраняются внешний вид и форма изделий из него, имеет высокую химическую стойкость и водостойкость. Только сильные окислители (например, концентрированная азотная кислота при повышенной температуре) способны растворять его. Растворяется он при нагревании в ароматических углеводородах и некоторых других неполярных растворителях. Полипропилен стареет быстрее полиэтилена (становится хрупким) под действием кислорода и ультрафиолетовых лучей. Для замедления старения в него вводят стабилизаторы – пигменты в количестве 1-2%. В основном применяется **изотактический полипропилен**. Он отличается от полиэтилена большей твердостью, практичностью и теплостойкостью (температура размягчения около 170°C), но переход в хрупкое состояние происходит уже при минус $10-20^{\circ}\text{C}$. Плотность полипропилена $920...930 \text{ кг/м}^3$; прочность при растяжении $25...30 \text{ МПа}$. Применяют полипропилен практически для тех же целей, что и полиэтилен, но изделия из него более жесткие и формоустойчивые.

Атактический полипропилен (АПП) получается при синтезе полипропилена как неизбежная примесь, но легко отделяется от изотактического полипропилена экстракцией (растворением в углеводородных растворителях). АПП – мягкий эластичный продукт плотностью $840...845 \text{ кг/м}^3$ с температурой размягчения $30-80^{\circ}\text{C}$. Применяют АПП как модификатор битумных композиций. Используют окисленный атактический полипропилен (ОАПП) в качестве модификатора- стабилизатора предупреждающего процесс повальной кристаллизации, старение и трещинообразование, окисленных битумов (см. главу I).

В ряде стран используются сетки из полипропилена при ремонте старых растрескавшихся участках асфальтобетонных покрытий, при усилении цементобетонных покрытий. Перед раскладкой сеток проводят ямочный ремонт покрытия. По уложенной сетке

наносят битумную эмульсию в количестве 1,3-1,5 л/м², после чего проводится укладка нового слоя асфальтобетона.

Сетка повышает усталостную долговечность асфальтобетона, повышает стойкость к колебаниям образования, эффективна при укладке асфальтобетона над швами цементобетонного основания, т.е. при усилении жестких покрытий.

Поливинилхлорид (-CH₂-CHCl-)_n – самый распространенный в строительстве полимер – представляет собой твердый материал без запаха и вкуса, бесцветный и желтоватый (при переработке в результате деструкции может приобрести светло-коричневый цвет). Плотность поливинилхлорида 1400 кг/м³, предел прочности при растяжении 40...60 МПа. Температура текучести поливинилхлорида 180-200°C, но уже при нагревании выше 160°C он начинает разлагаться с выделением хлороводорода. Это обстоятельство затрудняет переработку поливинилхлорида. Для повышения стойкости в него вводят стабилизаторы: соду, органические соли щелочноземельных металлов и др. Поливинилхлорид термопластичный, аморфный полимер, выпускается в виде порошка двух видов: эмульсионный и суспензионный. Растворимость его зависит от степени полимеризации: полимеры с меньшей молекулярной массой растворяются в ацетоне, с большей – хлорбензоле, циклогексаноле, дихлорэтане и др. Поливинилхлорид вследствие ряда ценных свойств широко применяется.

Поливинилхлорид не растворяется в винилхлориде, воде, углеводородах, спиртах, имеет высокие механические показатели легко поддается механической обработке, при температурах 80...130°C переходит в пластическое состояние.

Поливинилацетат (-CH₂-CH(OCOCH₃)-)_n – твердое вещество, бесцветное и прозрачное, нетоксичное вещество, обладает хорошей адгезией к каменным материалам, стеклу и т.п. Поливинилацетат стоек к старению от солнечного света, хорошо растворяется во многих растворителях: кетонах, хлорированных и ароматических углеводородах, сложных эфирах; не растворяется в бензине, керосине, масле, скипидаре, глицерине и др. В воде поливинилацетат немного набухает.

Поливинилацетат имеет плотность 1900 кг/м³, не стоек к действию кислот и щелочей; при нагревании выше 130...150°C он разлагается с выделением уксусной кислоты.

Поливинилацетат широко используют в строительстве и, в частности, для улучшения свойств битумов. Введение его в битум обеспечивает вяжущему повышенную прилипаемость к каменным

материалам и широкий интервал пластичности. Хорошие результаты в этом направлении получены при добавлении при температуре 150°C к битуму 5-10% сополимера алкилвинилового (диметилгексавинилового) эфира с поливинилацетатом. Интервал пластичности битума увеличивается при введении полимеризата на 10-15°C, повышается растяжимость вяжущего при 0°C.

В строительстве поливинилацетат применяют в виде поливинилацетатной дисперсии (ПВАД) – сметанообразной массы белого или светло-кремового цвета, хорошо смешивающейся с водой. Поливинилацетатную дисперсию получают полимеризацией жидкого винилацетата, находящегося в виде мельчайших частиц (менее 5 мкм) в воде. Для стабилизации эмульсии винилацетата используют поливиниловый спирт. При полимеризации капельки винилацетата превращаются в твердые частицы поливинилацетата, таким образом, получается поливинилацетатная дисперсия, стабилизатором которой служит тот же поливиниловый спирт. Содержание полимера в дисперсии около 50%.

Поливинилацетатная дисперсия выпускается средней (С), низкой (Н) и высокой (В) вязкости в пластифицированном и непластифицированном виде. Пластификатором служит дибутилфталат, содержание которого указывается в марке индексом. В грубодисперсной ПВАД, обычно применяемой в строительстве, содержание пластификатора следующее (% от массы полимера): 5...10 (индекс 4), 10...15 (индекс 7) и 30...35 (индекс 20).

Полистирол (- CH₂ – CH -)_n (поливинилбензол) – прозрачный



жесткий полимер

плотностью 1050...1080 кг/м³; при комнатной температуре жесткий и упругий, а при нагревании до 800...1000°C размягчающийся. Прочность при растяжении (при 20°C) 35...50 МПа. Полистирол хорошо растворяется в ароматических углеводородах (влияние бензольного кольца, входящего в состав молекул полистирола), сложных эфирных и хлорированных углеводородах. Полистирол горюч и хрупок. Для снижения хрупкости полистирол синтезируют с другими мономерами или совмещают с каучуками (ударопрочный полистирол).

Полистирол стоек к действию воды, минеральных кислот и щелочей, имеет большую светопропускаемую способность, высокую механическую прочность, светостоек. Полистирол легко перерабатывается в изделия литьем под давлением при температуре 180...230°C, хорошо склеивается синтетическими клеями, стои-

мость его гораздо меньше других полимеров. Недостатком его являются горючесть, хрупкость, низкая теплостойкость; при температуре 70-90°C изделия из полистирола деформируются. Для уменьшения хрупкости в полистирол вводят минеральные наполнители (кварцевый порошок, слюду и др.).

Побочным продуктом производства полистирола является полистирольная пыль. При введении ее в битум в количестве 3% снижается вязкость битума и его температура размягчения, значительно возрастает растяжимость при 0°C. Асфальтобетоны, содержащие битум, модифицированный полистирольной пылью, лучше уплотняются и более пластичны при отрицательных температурах.

Битумы с добавкой сополимера бутадиена (70%) со стиролом (30%) отличаются повышенной деформативной способностью и теплостойкостью. Смеси на таком вяжущем лучше укладываются и уплотняются, обладают повышенной прочностью.

Термореактивные фенолоформальдегидные и эпоксидные смолы

В отличие от термопластов, у которых молекулы химически инертны и не способны соединяться друг с другом, молекулы термореактивных олигомеров химически активны. Они либо содержат двойные (ненасыщенные) связи, либо химически активных групп. Поэтому при определенных условиях (при нагревании, облучении или добавлении веществ отвердителей) молекулы термореактивных олигомеров соединяются друг с другом, образуя сплошную пространственную сетку, как бы одну гигантскую макромолекулу.

К термоактивным полимерам, используемым в строительстве, относятся фенолоальдегидные, карбомидные, полиэфирные, эпоксидные и полиуретановые.

Фенолоальдегидные полимеры – первые синтетические полимеры, выпуск которых начался в начале XX века.

Фенолоальдегидные полимеры – наиболее распространенный полимер этого класса. Их получают поликонденсацией фенола и формальдегида. Характерная особенность этих полимеров – коричневый цвет. В зависимости от соотношения сырьевых компонентов можно синтезировать новолачные и резольные олигомерные смолы.

Новолачные фенолформальдегидные полимеры имеют коричневый цвет, обратимо размягчаются при нагревании, после чего сохраняют способность растворяться в органических растворителях (спирте ацетоне). Новолачные смолы отверждаются

только при добавлении веществ- отвердителей (например, уротропина), а без них ведут себя как термопластичные полимеры.

Резольные фенолоформальдегидные полимеры в зависимости от назначения выпускают твердыми либо жидкими (эмульсионными) от светло- желтого до красноватого цветов. Они способны к отверждению при нагревании без добавления отвердителей. Резольные смолы сначала плавятся, потом в расплавленном состоянии начинают густеть и постепенно переходят необратимо в твердое состояние. До отверждения фенолоформальдегидные смолы хорошо растворяются в спиртах, ацетоне и других растворителях.

Эпоксидные полимеры – большая группа олигомерных продуктов (от низковязких жидких жидкостей до твердых смол), получивших свое название по эпоксидным группам, входящим в молекулу олигомеров. Благодаря этим реакционно-способным группам, линейные цепи макромолекул эпоксидных смол при введении специальных отвердителей «сшиваются», образуя полимеры пространственного строения. В качестве отвердителей применяют полиэтилен-полиамид, гексаметилендиамин, вступающие в реакцию при низких температурах, или малеиновый ангидрид, меламин, формальдегидные смолы, вступающие в реакцию при повышенных температурах. При введении отвердителя уже при нормальной температуре смола через 2...4 ч желируется, а через 8...12 ч необратимо затвердевает. Нагревание ускоряет твердение и увеличивает степень отверждения. Положительное качество эпоксидных смол – малая усадка при твердении, что повышает прочность и трещиностойкость материалов приготовленных с их использованием. Для повышения эластичности в смолы можно вводить пластификаторы.

Характерные особенности эпоксидных полимеров – высокая адгезия к большинству материалов, включая бетон, дерево, металлы и другие материалы. Они отличаются универсальной химической стойкостью, водо- и теплостойкостью, водонепроницаемостью. Эпоксидные полимеры хорошо совмещаются с другими смолами, что повышает технические характеристики компадизированных смол, их адгезию, теплостойкость, водостойкость, стойкость в агрессивных средах. Порочность отвержденных эпоксидных смол высокая – до 100-150 МПа. Для повышения механических характеристик в эпоксидные смолы вводят большое количество наполнителей.

Эпоксидные смолы применяют для устройства наливных бесшовных полов высокой износо- и химической стойкости. Изготовления конструкционных строительных клеев (для склеивания и ремонта бетонных и металлических конструкций), применяют также в герметиках и полимеррастворах специального назначения.

Каучуки и каучукоподобные полимеры

Каучук и каучукоподобные полимеры в отличие от обычных полимеров при приложении растягивающей силы могут удлиняться в 2...10 раз, а при прекращении действия этой силы восстанавливать свои первоначальные размеры. Это свойство объясняется особенностью строения каучуков: во-первых, их молекулы не вытянуты в линию, а как бы свернуты в спираль; во-вторых, взаимодействие между молекулами существенно ниже, чем внутримолекулярные связи, и, в-третьих, молекулы соединены («сшиты») между собой в небольшом количестве мест.

При сшивке молекул каучука (этот процесс называют вулканизацией) число связей между молекулами увеличивается. У образовавшегося продукта – *резины* – по сравнению с каучуком несколько снижается эластичность и совершенно пропадает способность растворяться. При очень большом количестве сшивок образуется твердый прочный материал – **эбонит**.

Каучуки выпускают в виде твердого эластичного продукта, вязкой жидкости (жидкие каучуки), водных дисперсий – каучуковых латексов. Латексы содержат 30...60% каучука в виде мельчайших частиц средним диаметром 0,1...0,5 мкм, взвешенных в воде. Слиянию частиц препятствует находящаяся на их поверхности тончайшая оболочка из поверхностно- активных веществ – стабилизаторов. С точки зрения строителя латексы имеют преимущества перед другими формами СК: они относительно легко совмещаются с другими материалами (цементом, наполнителями), легко распределяются на поверхности тонкой пленкой, абсолютно не горючи и в них отсутствуют дорогостоящие и токсичные органические растворители.

Чаще других в строительстве применяют бутadiен-стирольный, полихлоропреновый, тиоловый и бутилкаучук; кроме того, используют каучукоподобные полимеры – полиизобутилен и хлорсульфированный полиэтилен.

Имеются три вида блоксополимеров стирола: SBS, SIS и SE/BS состоящие из двух разных по свойствам полимеров. Высокоэластичная резина расположена в средних блоках и соединена на концах с термопластичными полистирольными блоками в цепь.

SBS – стирол-бутадиен-стирол – может иметь линейную и радиальную структуру. Линейные структуры в основном используются в дорожных битумах, радиальные – для кровельных материалов.

SIS – стирол-изопрен-стирол – используют, главным образом, в виде горячего расплавленного вяжущего материала: мастики для заполнения швов, заделки трещин в покрытии.

SE/BS – стирол-этилен/бутилен-стирол – используется при строительстве дорог и для изготовления кровельных материалов, где требуется высокая стойкость к воздействию атмосферных факторов.

Контрольные вопросы

1. Что такое полимер и его разновидности;
2. Преимущества и недостатки каучука и каучуковых полимеров;
3. На основе какого полимера чаще всего приготавливают полимерно-битумное вяжущее и почему;
4. На какие свойства органического вяжущего влияет стирол-бутадиен-стирол.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ

Качество ПБВ устанавливают по стандартным методам, принятым для оценки свойств вязких дорожных битумов, а также определяют однородность и эластичность.

Перед испытанием ПБВ оценивают его однородность. Если проба однородна, проводят дальнейшие испытания.

Метод определения однородности

Сущность метода заключается в определении однородности ПБВ визуально с помощью стеклянной палочки. Пробу ПБВ массой 0,5 кг отбирают в фарфоровый стакан вместимостью не менее 600 см³. Если проба ПБВ хранилась при температуре ниже температуры размягчения ПБВ, то перед испытанием ее следует разогреть до температуры, превышающей на 10 °С температуру приготовления ПБВ, и перемешать в течение 5...6 мин.

Стеклянную палочку погружают в подготовленную пробу ПБВ на 3...4 с, затем извлекают и визуально оценивают характер стекания вяжущего с палочки и состояние пленки вяжущего на ее поверхности.

ПБВ должно стекать с палочки равномерно и на ее поверхности не должно быть сгустков, комков и крупинок.

Однородность ПБВ определяют сравнением результатов трех определений. Если два из трех определений дают положительный результат, то ПБВ считают выдержавшим испытание на однородность.

Метод определения эластичности

Сущность метода заключается в определении доли эластичной (полностью обратимой) деформации к предельной деформации образца.

Эластичность определяют при температурах 25 и 0°С непосредственно после испытания образцов на растяжимость.

Формы с разорвавшимися образцами снимают со штифтов и кладут на дно ванны дуктилометра или другой ёмкости с водой. С целью ускорения сокращения образцов при определении эластичности ПБВ при 25°С температуру воды доводят до 35±0,5°С. Затем проводят замеры (с точностью до 0,1 см) обеих частей образца от

свободного конца образца до зажима формы и момента изменения длины не более чем на 0,1 см за 15 мин. При определении эластичности при 0°С замеры проводят при температуре $0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Показатель эластичности Э в процентах вычисляют по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(D + l) - L}{D} \cdot 100\%$$

где D – растяжимость, см, при температурах 25 или 0°С;
 l – длина образца до его растяжения, равная 3 см;
 L – сумма длин двух частей образца после их восстановления по последнему измерению, см.

Расхождение между тремя параллельными определениями не должно превышать 10 % от среднего арифметического значения полученных результатов.

Определение растяжимости вязких битумов

Растяжимость битума характеризует способность образца к максимальному удлинению до момента разрыва сплошности при постоянной скорости деформирования и температуре, которую определяют на образцах битума в форме «восьмерки» и выражают в сантиметрах.

Растяжимость определяют в дуктилометре, который должен обеспечить растяжение 5 см/мин при температуре 25 и 0 °С.

Смазкой покрывают внутреннюю сторону вкладышей латунной формы «восьмерки» и поверхность пластины, на которую укладывают формы.

Расплавленный битум заливают в три формы «восьмерки» на уровень, несколько выше краев форм.

Образцы охлаждают в течение 40 мин на воздухе, после чего горячим ножом срезают излишки битума (вровень с краями формы).

Образцы помещают в сосуд с водой (или в ванну дуктилометра) на 60 мин. Вода при испытаниях должна иметь температуру $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ($0 + 0,5^{\circ}\text{C}$). Высота слоя воды над образцами должна быть не менее 25 мм.

Через час достают образцы из ванны, снимают их с пластин. Устанавливают образцы на штифты дуктилометра и снимают боковые части формы. Дуктилометр должен быть заполнен водой, имеющей температуру испытания битума 25 или 0°С.

Включают мотор дуктилометра и растягивают образцы до момента разрыва. В момент разрыва снимают показатели по линейке в сантиметрах. Результаты заносят в табл. 4.

Показатель растяжимости определяют как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов. Расхождение между результатами испытаний не должно превышать 10%.

Определение температуры размягчения

Температура размягчения битума характеризует его переход из упруговязкопластичного состояния в текучее.

Данный показатель определяют на приборе «Кольцо и шар» («КиШ») в градусах Цельсия.

Латунные кольца располагают на металлической пластине, предварительно покрытой смазкой, и заливают расплавленным битумом с небольшим избытком.

Образцы охлаждают на воздухе в течение 20 мин и срезают горячим ножом избыток битума вровень с краями колец.

Кольца устанавливают в прибор «Кольцо и шар» и заливают воду температурой 5°C в стакан прибора. Высота слоя воды над поверхностью битума должна быть не менее 50 мм. Образцы выдерживают не менее 15 мин.

Прибор извлекают из стакана, кладут по центру кольца стальной шарик диаметром 9,53 мм и массой 3,5 г и опускают прибор в стакан.

Воду подогревают в стакане со скоростью 5°C/мин.

Отмечают температуру, при которой битум под воздействием шарика вытечет из кольца и коснется нижней пластины прибора.

За температуру размягчения принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний при условии, что разница между ними не превышает 0,5°C.

Метод определения температуры хрупкости

Температура хрупкости ПБВ определяется по методике определения этого показателя для вязкого битума с незначительным отличием в требованиях к допустимой точности измерения. Действующие для вязкого битума интервалы погрешности испытаний действительны для ПБВ до температуры – 60°C.

На две стальные пластинки наносят по 0,4 г органического вяжущего и с помощью нагрева и наклона пластинок добиваются равномерного растекания битума. Для удаления пузырьков над поверхностью битума проносят пламя свечи, затем образцы выдерживают на воздухе при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ не менее 30 мин.

Пластину с вяжущим устанавливают в прибор так, чтобы битумный слой был наружу, и начинают охлаждать. Скорость снижения температуры должна быть 1 °С/мин. При температуре примерно на 10 °С выше ожидаемой температуры хрупкости пластинку начинают сгибать и разгибать с равномерной скоростью.

Температуру отмечают в момент появления первой трещины на битумной пленке.

Аналогичные испытания проводят для другой пластинки. За температуру хрупкости принимают среднее арифметическое значение трех определений, округленное до целого числа.

Допускаемые расхождения между определениями не должны превышать 3°С.

Определение индекса пенетрации

Индекс пенетрации является обобщенным расчетным показателем, характеризующим качество нефтяных дорожных битумов.

Методика определения приведена в соответствии с ГОСТ 22245–90.

Индекс пенетрации нефтяных дорожных битумов определяют в зависимости от глубины проникания иглы при 25°С и температуры размягчения по «Кольцу и шару».

При промежуточных значениях данных показателей индекс пенетрации определяют интерполяцией.

Определение потери массы после прогрева

В две металлические чашки наливают обезвоженный битум. Навеска битума в каждой чашке 50 ± 1 г. Чашки с горячим битумом осторожно наклоняют в стороны и распределяют битум по дну равномерным слоем толщиной примерно 4 мм.

2. Пробы взвешивают с точностью до 0,01 г и помещают в сушильный шкаф на 5 ч при температуре 163°С. После прогрева чашки охлаждают и взвешивают с точностью до 0,01 г. Для определения показателей битума после прогрева в соответствии с ГОСТ 22245–90 находят температуру размягчения. Дополнительно можно определить изменение массы, условную вязкость и другие показатели.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение двух параллельных определений.

Контрольные вопросы

1. Что такое полимерно-битумное вяжущее. Из каких компонентов оно готовится?
2. Как и для чего определяется однородность полимерно-битумного вяжущего?
3. По каким показателям оценивают качество полимерно-битумного вяжущего?
4. Что такое эластичность полимерно-битумного вяжущего, для чего ее определяют и как?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ЭМУЛЬСИЙ И ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Эмульсия битумная дорожная состоит из битума (вязкого или жидкого), воды и эмульгатора.

Битумные эмульсии обеспечивают альтернативный подход, при котором битум разжижается путем диспергирования в воде. Эмульсии могут использоваться с холодными и мокрыми каменными материалами; набор окончательной прочности дорожного материала происходит, когда эмульсии распадаются – возвращаются в непрерывную битумную фазу - и вода исчезает.

По виду ПАВ, используемых в качестве эмульгатора, битумные дорожные эмульсии подразделяют на два вида: анионные (ЭБА) и катионные (ЭБК). По смешиваемости с минеральными материалами каждый вид эмульсии подразделяют на три класса: анионные – ЭБА–1, ЭБА–2, ЭБА–3; катионные – ЭБК–1, ЭБК–2, ЭБК–3.

Массовая доля битума с эмульгатором в эмульсиях должна быть 45 – 55 %.

Для суждения о качестве эмульсии определяют: содержание битума, условную вязкость, устойчивость при хранении, устойчивость при транспортировке, устойчивость при перемешивании с минеральными материалами, однородность, смешиваемость с минеральными материалами, физико-механические показатели битума в эмульсии.

Перед испытанием каждую пробу эмульсии тщательно перемешивают и процеживают через сито № 1,25, смоченное 1%-м раствором медного натра (для анионных эмульсий). Температура эмульсий при испытаниях должна быть $20 \pm 2^\circ\text{C}$. При этом испытываемая битумная эмульсия по всем показателям должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 52128–2003.

Содержание вяжущего в эмульсии

Этот показатель характеризует ее качество и соответствие рецепту. Содержание битума в эмульсии по ГОСТ Р 52128–2003 составляет 40–70% от ее массы.

Чистую сухую чашку вместе со стеклянной палочкой взвешивают, затем наливают в чашку примерно 30 г эмульсии и взвешивают чашку с эмульсией и стеклянной палочкой.

Чашку с эмульсией и стеклянной палочкой устанавливают на закрытую электрическую плитку или песчаную баню и удаляют воду из эмульсии выпариванием. При выпаривании во избежание

разбрызгивания эмульсию периодически перемешивают стеклянной палочкой, не вынимая ее из чашки.

Удаление воды из эмульсии считают законченным, когда прекратится выделение пузырьков пара и поверхность остатка в чашке станет зеркальной. После этого чашку охлаждают при комнатной температуре, а затем взвешивают вместе со стеклянной палочкой.

Содержание вяжущего с эмульгатором в эмульсии M , % по массе, вычисляют по формуле

$$M = \frac{g_3 - g_1}{g_2 - g_1} 100$$

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 воды из эмульсии, г.

Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,2%.

Содержание вяжущего с эмульгатором в эмульсии вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений.

Определение устойчивости эмульсии при перемешивании с минеральными материалами.

Определение однородности

Данный показатель находят по остатку битума на сите № 0,14 после процеживания и выражают в процентах от массы эмульсии.

Предварительно промытое бензином и высушенное сито помещают в фарфоровую чашку и взвешивают, затем сито вынимают из чашки и обильно смачивают 1 %-м раствором едкого натра (для анионных эмульсий) или соляной кислоты (для катионных эмульсий).

В стеклянный стакан отвешивают 100 г предварительно перемешанной эмульсии.

Навеску эмульсии равномерно процеживают через сито. Стакан от эмульсии и стеклянную палочку промывают раствором щелочи или кислоты, сливая его на сито.

Остаток на сите также промывают, пропуская через сито раствор щелочи или кислоты до получения прозрачных промывных вод, не содержащих следов эмульсии.

Сито ставят в фарфоровую чашку, с которой его предварительно взвешивали, сушат до постоянной массы при температуре 105 ± 5 °С, охлаждают до комнатной температуры и взвешивают вместе с чашкой.

Остаток на сите M , % по массе, вычисляют по формуле:

$$M = \frac{g_2 - g_1}{g_3} 100$$

где g_1 – масса сита и чашки, г;

g_2 – масса сита с остатком и чашкой, г;

g_3 – масса эмульсии, г.

Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,05%.

Остаток на сите вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений.

Определение условной вязкости

За показатель условной вязкости принимают время истечения 50 мл эмульсии сквозь отверстие диаметром 3 мм при температуре $20 \pm 0,5$ °С.

Эмульсию температурой $20 \pm 0,5$ °С наливают в рабочий цилиндр аппарата при закрытом затворе до уровня отметки на затворе.

Залитую в цилиндр аппарата эмульсию хорошо перемешивают термометром, измеряют температуру, вынимают термометр и быстро поднимают затвор.

В момент, когда уровень эмульсии достигнет в измерительном цилиндре метки 25 мл, включают секундомер. Когда уровень эмульсии достигнет метки 75 мл, секундомер останавливают и вычисляют время истечения эмульсии.

За условную вязкость принимают время истечения в секундах 50 мл эмульсии.

Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2 с.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, округленное до целого числа.

Определение условной вязкости

За показатель условной вязкости принимают время истечения 50 мл эмульсии сквозь отверстие диаметром 3 мм при температуре $20 \pm 0,5$ °С.

Эмульсию температурой $20 \pm 0,5$ °С наливают в рабочий цилиндр аппарата при закрытом затворе до уровня отметки на затворе.

Залитую в цилиндр аппарата эмульсию хорошо перемешивают термометром, замеряют температуру, вынимают термометр и быстро поднимают затвор.

В момент, когда уровень эмульсии достигнет в измерительном цилиндре метки 25 мл, включают секундомер. Когда уровень эмульсии достигнет метки 75 мл, секундомер останавливают и вычисляют время истечения эмульсии.

За условную вязкость принимают время истечения в секундах 50 мл эмульсии.

Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2 с.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, округленное до целого числа.

Определение сцепления эмульсий с поверхностью щебня

Сцепление оценивают визуально по величине поверхности щебенки, на которой сохранилась пленка вяжущего после кипячения щебенки, обработанной битумной эмульсией.

Определение сцепления эмульсий 1-го и 2-го классов с поверхностью щебня

Навеску щебня из гранита при испытании катионных эмульсий или из карбонатных пород при испытании анионных эмульсий массой 1 кг каждая промывают и высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 ± 5 °С.

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 испытуемую эмульсию, затем подвешивают на штативе так, чтобы зерна щебня не касались друг друга.

Зерна щебня испытывают через сутки, для чего дистиллированную воду нагревают до 100 °С, затем каждое из подвешенных

на штативе зерен щебня поочередно погружают на 30 мин в кипящую воду. По истечении указанного времени фильтровальной бумагой снимают с поверхности воды всплывшее вяжущее, вынимают зерна щебня, погружают на 1-2 с в холодную воду, вынимают из воды и помещают на фильтровальную бумагу.

Оценку качества сцепления эмульсии со щебнем определяют по степени сохранности пленки вяжущего. За результат испытаний принимают среднеарифметическое значение результатов четырех определений, округленное до целого числа.

Определение сцепления эмульсий 3-го класса с минеральной частью смеси

Готовят смесь эмульсии со смесью минеральных материалов плотного зернового состава по п. 2. Приготовленную смесь раскладывают на фильтровальной бумаге и оставляют при комнатной температуре.

На следующий день 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 или песчаную баню и доводят до кипения.

Сетку с навеской смеси опускают в стакан с кипящей водой таким образом, чтобы уровень воды над смесью был не менее 30–40 мм, и укрепляют проволоочными дужками за край стакана.

Сетку с испытуемым образцом выдерживают в кипящей воде 30 мин. Вяжущее, отделившееся от поверхности минеральных зерен в процессе кипения и всплывшее на поверхность, удаляют фильтровальной бумагой.

По истечении указанного времени сетку со смесью извлекают из стакана и переносят в стакан с холодной водой для охлаждения, после чего смесь переносят на фильтровальную бумагу.

Смесь осматривают и, сравнивая со смесью, не проходившей испытание, проводят оценку качества сцепления эмульсии с минеральными материалами.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, округленное до целого числа.

Определение физико-механических свойств остатка после испарения воды из эмульсии.

Физико-механические показатели характеризуют качество самого битума в эмульсии.

Эмульсию наливают в выпарительную чашку в количестве не менее 500 мл, ставят на электрическую плитку и выпаривают из нее воду, периодически помешивая стеклянной палочкой.

В полученном остатке определяют:

- глубину проникания иглы в остаток в соответствии с ГОСТ 11501–78;
- температуру размягчения по кольцу и шару остатка в соответствии с ГОСТ 11506–73;
- растяжимость остатка в соответствии с ГОСТ 11505–75;
- эластичность остатка при 25 °С: после определения растяжимости остатка формы с разорвавшимися образцами снимают со штифтов и укладывают на дно ванны дуктилометра или другой емкости с водой, имеющей температуру $35 \pm 0,5$ °С. Затем проводят замеры обеих частей образца с точностью до 1,0 мм от свободного конца образца до зажима формы. Измерения проводят до момента изменения длины не более чем на 0,1 см за 15 мин.

Показатель эластичности Э, %, вычисляют по формуле

$$\text{Э} = \frac{D - L_0}{D} 100$$

где D – см, растяжимость;

L_0 – равная 3 см, длина образца до его растяжения;

L – см, сумма длин двух частей образца после их восстановления (по последнему замеру).

За эластичность принимают среднеарифметическое значение результатов трех параллельных определений.

Допустимое расхождение между результатом каждого определения и среднеарифметическим значением не должно превышать 10% среднеарифметического результата.

Определение устойчивости при хранении

Устойчивость эмульсии при хранении определяют по остатку на сите с сеткой № 014 после процеживания через него эмульсии, хранившейся при комнатной температуре в течение 7 и 30 сут.

В каждый из четырех цилиндров отвешивают по 200 г эмульсии. Цилиндры плотно закрывают и оставляют на хранение в спокойном состоянии при комнатной температуре.

По истечении 7 сут проводят испытание эмульсии из двух цилиндров в соответствии с п. 3 данной лабораторной работы. Перед процеживанием эмульсию в цилиндре перемешивают стеклянной палочкой.

Эмульсию из двух других цилиндров испытывают по истечении 30 сут хранения также.

Определение устойчивости при транспортировании

Устойчивость эмульсии при транспортировании оценивают по ее способности не распадаться после встряхивания в течение 2 ч. Испытания проводят в аппарате для встряхивания, делаемым в минуту 65 движений вперед и 65 – назад на расстояние 8 см.

Две колбы, в каждую из которых налито по 200 мл эмульсии, закрывают пробками, укрепляют на приборе и встряхивают 2 ч. Если не произошло необратимого разделения эмульсии на битум и воду, то считают, что она выдержала испытание.

Контрольные вопросы

1. Какие эмульсии применяют в дорожном строительстве?
2. Что представляет собой эмульгатор в битумной эмульсии? Какова его роль?
3. Классифицируйте битумные эмульсии.
4. Для каких работ применяют эмульсию?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ПОДБОР СОСТАВОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Подбор состава асфальтобетона предусматривает определение соотношения компонентов асфальтобетона в соответствии с требованиями ГОСТ 9128–2009.

Проектирование асфальтобетона – комплексный процесс, предусматривающий определение состава асфальтобетона с учетом климатических факторов, условий эксплуатации, а также включающий в себя выбор и испытание материалов для производства асфальтобетонных смесей.

Проектирование асфальтобетона – сложная инженерно экономическая задача, которая решается в зависимости от следующих факторов:

- дорожно-климатических условий строительства;
- интенсивности и состава движения (категории дороги);
- качества и дальности транспортирования основных материалов;
- особых условий эксплуатации асфальтобетонных покрытий (подъема, участков торможения и др.).

Исходя из этих условий назначаются тип и марка смеси, вязкость применяемого битума.

Подбор состава асфальтобетонной смеси состоит в расчете количества составляющих материалов, которые обеспечат получение плотного каркаса, при этом количество битума должно быть оптимальным.

Расчет состава асфальтобетонной смеси включает:

- 1) определение качества исходных материалов;
- 2) расчет состава минеральной части асфальтобетонной смеси по принципу минимума пустот;
- 3) определение оптимального количества битума в асфальтобетонной смеси;
- 4) определение физико-механических свойств асфальтобетона.

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих требуемые технические характеристики асфальтобетона, является гранулометрический состав минеральной части. Гранулометрический со-

став смеси должен обеспечивать оптимальную плотность асфальтобетона, а в соответствующих случаях – повышенную шероховатость.

ГОСТ 9128–2009 приводит рекомендуемые гранулометрические составы минеральной части горячих асфальтобетонных смесей. Состав минеральной части асфальтобетона проектируют таким образом, чтобы кривые гранулометрических составов, нанесенные на соответствующие графики, укладывались в зону, ограниченную предельными кривыми, были плавными, без резких перегибов.

Если кривая зернового состава подобранной смеси минеральных материалов проходит плавно внутри рекомендуемых предельных кривых, то выбор соотношения между минеральными материалами считают законченным. Если кривая зернового состава подобранной смеси минеральных материалов вышла за рекомендуемые пределы плотных смесей, то необходимо изменить соотношение между составляющими материалами или ввести дополнительно материал, улучшающий зерновой состав смеси (например, высевки или крупный песок).

Выбрав соотношение между минеральными материалами, приступают к установлению оптимального количества вяжущего материала опытным путем. Оптимальным называется такое количество битума в смеси, при котором прочность асфальтобетона максимальна, а пористость и водонасыщение не выходят за пределы норм, регламентируемых требованиями ГОСТ 9128–2009. Для этого готовят три смеси с различным содержанием вяжущего, в каждой из которых содержание вяжущего отличается на 0,5 или 0,25%. При этом максимальное и минимальное количество битума зависит от вида смеси в соответствии с ГОСТ 9128–2009. Из приготовленных трех смесей формуют образцы для определения пределов прочности на сжатие при 20 и 50 °С в сухом состоянии, на сжатие при 20 °С в водонасыщенном состоянии, состоянии водонасыщения и набухания.

По результатам испытаний приготовленных из смесей образцов строят графики зависимости прочности при сжатии и водонасыщенности образцов от содержания битума в смеси. Из нескольких вариантов выбирают ту смесь, которая дала лучшие результаты.

Из выбранного состава готовят контрольные образцы и подвергают их испытаниям.

Приготовление смеси и изготовление образцов-цилиндров из асфальтобетонной смеси

Подготовленные и взвешенные компоненты перемешивают и прогревают до температурных пределов.

Затем в минеральную смесь на весах добавляют расчетное количество битума, предварительно разогретое до рабочей температуры.

Смесь перемешивают до получения однородной массы и разогревают до соответствующей температуры. После этого смесь считается готовой для формования образцов.

Из приготовленной смеси берут навеску, укладывают в специальную форму небольшими порциями и равномерно распределяют ее в форме, штыкуя ножом.

В форму вставляют пуансон-вкладыш и устанавливают ее на плиту пресса, уплотняют смесь стандартно при давлении $P = 40$ МПа в течение 3 мин. Формы предварительно должны быть прогреты до температуры $90\text{--}100^\circ\text{C}$. Если формуют образцы из асфальтобетона типа А (щебня больше 50%), то сначала их уплотняют вибрацией 3 мин (частота 2900 мин⁻¹, амплитуда $0,4 \pm 0,05$ мм при давлении 30 ± 5 кПа на пуансон), а затем доуплотняют на прессе под давлением 20 МПа в течение 3 мин.

Образцы расформовывают на специальном выжимном устройстве, измеряют высоту с точностью до 0,1 мм;

Определение средней плотности уплотненного материала

Сущность метода заключается в определении гидростатическим взвешиванием средней плотности образцов, изготовленных в лаборатории или отобранных из конструктивных слоев дорожных одежд с учетом имеющихся в них пор.

Образцы взвешивают на воздухе.

Затем образцы из смесей 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 чего образцы взвешивают в воде, следя за тем, чтобы на образцах не было пузырьков воздуха.

После взвешивания в воде образцы обтирают мягкой тканью и вторично взвешивают на воздухе.

Среднюю плотность образца из смеси m , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho_m = \frac{g\rho^B}{g_2 - g_1}$$

где g – масса образца, взвешенного на воздухе, г;
 ρ^B – плотность воды, равная 1, г/см³;
 g_1 – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного в воде, г;
 g_2 – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и вторично взвешенного на воздухе, г.

Определение средней плотности минеральной части (остова)

Сущность метода заключается в определении плотности минеральной части (остова) уплотненной смеси с учетом имеющихся пор.

Среднюю плотность минеральной части определяют расчетом на основании предварительно установленной средней плотности образцов и соотношения минеральных материалов, вяжущего и воды при наличии ее в смесях.

Среднюю плотность минеральной части смеси ρ_m^M , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho_m^M = \frac{\rho_m}{1 + 0,01q_6}$$

где ρ_m – средняя плотность образцов по разделу 1, г/см³;
 q_6 – массовая доля вяжущего в смеси, % (сверх 100 % минеральной части).

Определение истинной плотности минеральной части (остова)

Сущность метода заключается в определении расчетным путем плотности минеральной части (остова) смеси без учета имеющихся в ней пор.

Истинную плотность минеральной части (остова) определяют на основании предварительно установленных истинных плотностей отдельных минеральных материалов (щебня, песка, минерального порошка и др.).

Истинную плотность минеральной части ρ^m , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho^m = \frac{100}{\frac{q_1}{\rho^1} + \frac{q_2}{\rho^2} + \dots + \frac{q_n}{\rho^n}}$$

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

Определение истинной плотности смеси

Сущность метода заключается в определении плотности смеси без учета имеющихся в ней пор.

Истинную плотность при подборе составов определяют расчетным или пикнометрическим методом.

Истинную плотность смесей из покрытия и смесей, отобранных из смесителя, определяют только пикнометрическим методом.

Определение истинной плотности расчетным методом

На основании предварительно установленных истинных плотностей минеральной части смеси, вяжущего и их массовых соотношений вычисляют истинную плотность смеси ρ г/см³, по формуле:

$$\rho = \frac{q_M + q_B}{\frac{q_M}{\rho^M} + \frac{q_B}{\rho^B}}$$

где q_M – массовая доля минеральных материалов в смеси (принимают за 100%), %;

q_B – массовая доля вяжущего в смеси (сверх 100 % минеральной части), %;

ρ^M – истинная плотность минеральной части смеси, г/см³;

ρ^B – истинная плотность вяжущего, г/см³.

Определение истинной плотности пикнометрическим методом

Взвешивают чистую и сухую колбу.

Из смеси отбирают среднюю пробу методом квартования. Для этого смесь распределяют на металлическом противне и делят шпателем на четыре равные части. Из двух противоположных частей отбирают в колбу не менее 200 г смеси.

Колбу со смесью охлаждают до комнатной температуры и взвешивают.

Затем в колбу со смесью наливают дистиллированную воду температурой 20 ± 2 °С в таком количестве, чтобы ее уровень был выше уровня смеси не менее чем на 3 см.

Колбу помещают на 1 ч в вакуумную установку, где поддерживают давление не более 2000 Па.

По истечении указанного времени давление доводят до атмосферного и в колбу добавляют 10 мл раствора смачивателя для удаления пузырьков воздуха с поверхности смеси. Когда все пузырьки воздуха всплывут, добавляют дистиллированную воду и доводят ее в колбе до температуры 20 ± 2 °С. Уровень воды фиксируют в зависимости от вида колбы.

В мерную колбу воду доливают до метки. В коническую колбу воду доливают до самого края горлышка, на которое кладут покровное часовое стекло так, чтобы излишки воды вытекли, а под стеклом не оставалось пузырьков воздуха. Колбу пикнометра, заполненную водой, закрывают пробкой, при этом избыток воды вытесняется через капиллярное отверстие. После заполнения водой колбу тщательно обтирают фильтровальной бумагой и взвешивают.

Затем колбу освобождают от воды и смеси, тщательно промывают, заполняют дистиллированной водой температурой 20 ± 2 °С так, как указано выше, и взвешивают.

Истинную плотность смеси ρ , г/см³, вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{(g - g_1)\rho^B}{g - g_1 + g_2 - g_3}$$

где g – масса колбы со смесью, г;
 g_1 – масса пустой колбы, г;
 g_2 – масса колбы с водой, г;
 g_3 – масса колбы со смесью и водой, г;
 ρ^B – плотность дистиллированной воды (принимается равной 1 г/см³).

Определение пористости минеральной части (остова)

Сущность метода заключается в определении объема пор, имеющих в минеральной части (остове) уплотненной смеси или асфальтобетона.

Пористость минеральной части определяют расчетом на основании предварительно установленных значений средней и истинной плотностей минеральной части смеси.

Пористость минеральной части $V_{\text{пор}}^M$, %, вычисляют с точностью до первого десятичного знака по формуле:

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

где ρ_m^M – средняя плотность минеральной части уплотненной смеси или асфальтобетона, г/см³;
 ρ^M – истинная плотность минеральной части смеси по разделу 3, г/см³.

Определение остаточной пористости

Сущность метода заключается в определении объема пор, имеющихся в уплотненной смеси или асфальтобетоне.

Остаточную пористость лабораторных образцов или образцов из покрытия, %, определяют расчетом на основании предварительно установленных средней и истинной плотностей с точностью до первого десятичного знака по формуле:

$$V_{\text{пор}}^o = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) 100$$

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

Определение водонасыщения

Сущность метода заключается в определении количества воды, поглощенной образцом при заданном режиме насыщения. Водонасыщение определяют на образцах, приготовленных в лаборатории из смеси или на образцах-вырубках (кернах) из покрытия (основания).

Водонасыщение определяют на образцах цилиндрической формы или на образцах-вырубках (кернах). Для смесей испытание проводят на образцах, использованных для определения средней плотности.

После взвешивания образцов на воздухе их выдерживают 30 мин в воде и взвешивают на воздухе, а затем взвешивают в воде.

После взвешивания образцы помещают в сосуд с водой температурой 20 ± 2 °С. 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 в течение 1 ч при испытании образцов из смесей с вязкими органическими вяжущими; 30 мин — при испытании образцов из смесей с жидкими и эмульгированными вяжущими.

Затем давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде с водой температурой 20 ± 2 °С 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:

$$W = \frac{g_5 - g}{g_2 - g_1} 100$$

где g – масса сухого образца, взвешенного на воздухе, г;
 g_1 – масса образца, выдержанного в воде 30 мин и взвешенного в воде, г;
 g_2 – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и вторично взвешенного на воздухе, г;
 g_5 – масса насыщенного водой образца, взвешенного на воздухе, г.

Определение набухания

Набухание определяют как приращение объема образца после насыщения его водой.

Для определения набухания используют данные, полученные при определении средней плотности и водонасыщения.

Набухание образца H , % по объему, вычисляют по формуле для смесей:

$$H = \frac{(g_5 - g_6) - (g_2 - g_1)}{g_2 - g_1} 100$$

где g_6 – масса насыщенного водой образца, взвешенного в воде, г.

Определение предела прочности при сжатии

Сущность метода заключается в определении нагрузки, необходимой для разрушения образца при заданных условиях.

Подготовленные для испытаний образцы-цилиндры термостатируют при заданной температуре: 50 ± 2 °С, 20 ± 2 °С или 0 ± 2 °С. Образцы из горячих смесей выдерживают при заданной температуре в течение 1 ч в воде.

Для каждого температурного режима испытаний берут по три образца. Затем по одному образцу вынимают из сосуда, где они термостатировались, протирают тканью и устанавливают в центре нижней плиты пресса, затем опускают верхнюю плиту и останавливают ее выше уровня поверхности образца на 1,5–2 мм.

После этого включают электродвигатель пресса и начинают нагружать образец до предельной нагрузки в кгс. Перед испытанием устанавливают скорость движения плиты пресса, которая должна быть $3,0 \pm 0,3$ мм/мин.

Так испытывают все образцы, в том числе и насыщенные водой; по полученным результатам для каждого образца рассчитывают предел прочности при сжатии в кгс/см². В завершение для каждой серии из трех образцов, испытанных при температурах 50, 20, 0 °С, и водонасыщенных образцов определяют среднеарифметическое значение предела прочности при сжатии в кгс/см² или в МПа (R_{20} , R_{50} , R_0 , $R_{вд}$).

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F} 10^{-2}$$

где P – разрушающая нагрузка, Н;
 F – первоначальная площадь поперечного сечения образца, см²;
 10^{-2} – коэффициент пересчета в МПа.

Определение водостойкости

Сущность метода заключается в оценке степени падения прочности при сжатии образцов после воздействия на них воды в условиях вакуума.

Образцы насыщают в вакуумной установке.

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

$$K_v = \frac{R_{сж}^B}{R_{сж}^{20B}}$$

где $R_{сж}^B$ – предел прочности при сжатии при температуре 20 ± 2 °С водонасыщенных в вакууме образцов, МПа;
 $R_{сж}^{20B}$ – предел прочности при сжатии при температуре 20 ± 2 °С образцов до водонасыщения, МПа.

Определение водостойкости при длительном водонасыщении

Сущность метода заключается в определении отношения прочности при сжатии образцов после воздействия на них воды в течение 15 сут к первоначальной прочности параллельных образцов.

Образцы насыщают в вакуумной установке.

Образцы, насыщенные в вакуумной установке, переносят в другой сосуд с водой, в котором выдерживают в течение 15 сут, температуру воды поддерживают в пределах 20 ± 5 °С.

По истечении 15 сут образцы извлекают из воды, обтирают мягкой тканью и определяют предел прочности при сжатии.

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

$$K_{вд} = \frac{R_{сж}^{вд}}{R_{сж}^{20в}}$$

где $R_{сж}^{вд}$ – предел прочности при сжатии при температуре 20 ± 2 °С образцов после насыщения водой в течение 15 сут, МПа;
 $R_{сж}^{20в}$ – предел прочности при сжатии при температуре 20 ± 2 °С образцов до насыщения водой, МПа.

Определение качества сцепления битумного вяжущего с поверхностью щебня

Качество сцепления оценивают визуально по степени сохранности пленки битумного вяжущего на зернах щебня после его кипячения в дистиллированной воде.

Из средней пробы применяемого щебня отбирают шесть зерен размером не менее 10 мм и высушивают их в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С.

Каждое зерно щебня обвязывают ниткой или тонкой проволокой (диаметром не более 0,5 мм) и прогревают в сушильном шкафу. Температура прогрева щебня должна быть при применении вязких битумов 130–150 °С, жидких – 80–100 °С.

По истечении 1 ч прогретые зерна щебня поочередно погружают на 15 с в применяемое битумное вяжущее, нагретое до температуры, указанной в табл. 24, после чего вынимают и подвешивают на штативе для стекания лишнего битума. Испытание проводят не ранее чем через 1 ч после обработки зерен щебня битумом.

Химический стакан заполняют дистиллированной водой на 2/3 объема, устанавливают на электроплитку, песчаную баню или на асбестовую сетку над пламенем горелки и доводят воду до кипения.

Каждое зерно, подвешенное на штативе, поочередно опускают в середину стакана так, чтобы оно не касалось ни дна, ни стенок стакана и выдерживают в кипящей воде при применении вязких битумов 30 мин, жидких – 3 мин.

По истечении указанного времени фильтровальной бумагой удаляют битум, отделившийся от поверхности щебня в процессе кипячения и всплывший на поверхность.

Зерно щебня вынимают из стакана и погружают в стакан с холодной дистиллированной водой на 1–3 мин для охлаждения и закрепления оставшейся на поверхности щебня пленки битума.

Остывший щебень вынимают из воды и помещают на фильтровальную бумагу.

Поверхность зерен щебня осматривают и проводят оценку качества сцепления битумного вяжущего со щебнем по степени сохранности пленки вяжущего.

За результат испытания принимают максимальный балл, но не ниже трех баллов, полученный в результате испытания шести зерен щебня.

Контрольные вопросы

1. Что такое структура асфальтобетона? Назовите функцию каждой из структур.
2. Что такое адсорбция, хемосорбция? Как эти процессы влияют на качество асфальтобетона?
3. Каким показателем оценивается однородность асфальтобетонных смесей в соответствии с ГОСТ 9128–2009?
4. Что такое сегрегация и как она влияет на свойства образцов асфальтобетона и асфальтобетонного покрытия в целом?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

АСФАЛЬТОБЕТОНОВ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ

СТОЙКОСТИ К КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЮ

Сущность метода заключается в прокатывании нагруженного колеса по испытуемому образцу при температуре (60 ± 1) °С и определении глубины колеи после 10 000 циклов нагрузки (20 000 прокатываний) или по достижении предельного значения.

Приготовление образцов-плит осуществляется в соответствии с ПНСТ 185. Приготавливается не менее двух испытываемых образцов из одной асфальтобетонной смеси.

При испытании образца-плиты, его кладут на столик испытательной установки и закрепляют. В случае если образец-плита имеет большие размеры, чем столик для испытываемых образцов, то на установке для распила обрезают края образца-плиты до требуемых размеров.

Для определения устойчивости асфальтобетона к колееобразованию, образцы необходимо термостатировать. Термостатирование испытываемого образца на воздухе осуществляется при температуре (60 ± 1) °С. Минимальное время термостатирования зависит от толщины образца:

- не менее 4 ч для испытываемого образца с толщиной менее 60 мм;
- не менее 6 ч для испытываемого образца с толщиной 60 мм и более. Максимальное время термостатирования испытываемого образца любой толщины составляет 12 ч.

Термостатирование испытываемого образца на воздухе осуществляется при температуре (60 ± 1) °С. Минимальное время термостатирования зависит от толщины образца:

- не менее 4 ч для испытываемого образца с толщиной менее 60 мм;
- не менее 6 ч для испытываемого образца с толщиной 60 мм и более. Максимальное время термостатирования испытываемого образца любой толщины составляет 12 ч.

Глубина колеи, определяется как среднеарифметическое значение глубины колеи двух или более испытываемых образцов, измеренная с точностью до 0,1 мм.

Определение усталостной прочности при многократном изгибе

Сущность метода заключается в определении усталостной прочности асфальтобетонного образца после приложения многократной синусоидальной нагрузки с постоянной деформацией.

Для проведения испытаний необходимо использовать не менее трех испытуемых образцов.

Из асфальтобетонной смеси приготавливают образец-плиту требуемой толщины или с необходимым содержанием воздушных пустот.

В климатической камере предварительно термостатируют испытуемый образец в течение не менее 2 ч при температуре $(20,0 \pm 0,5)$ °С.

По окончании периода термостатирования открывают зажимы испытательной установки и устанавливают испытуемый образец таким образом, чтобы расстояние между центрами зажимов составляло (119 ± 1) . Когда испытуемый образец и зажимы будут приведены в требуемое положение, сначала закрывают внешние зажимы, а потом закрывают внутренние зажимы.

После того как испытуемый образец был размещен в зажимах, к нему прикрепляют блок установки с линейно регулируемым дифференциальным датчиком, ввинтив винт в гайку, приклеенную к образцу. Далее фиксируют дифференциальный датчик в требуемом положении, так чтобы щуп датчика находился наверху блока установки, а показание дифференциального датчика было приближено к нулю.

Выбирают необходимый исходный уровень деформации от 250 до 750 мкм/м и частоту приложения нагрузки от 5 до 10 Гц, а также периодичность циклов приложения нагрузки, при которой будут записываться и обрабатываться результаты испытаний. Выбранные данные вводят в программу управления.

Для определения начальной жесткости на испытуемый образец прикладывают 50 циклов приложения нагрузки при постоянном уровне деформации испытуемого образца в диапазоне от 250 до 750 мкм/м. Определяют жесткость испытуемого образца на 50-м цикле приложения нагрузки. Это значение будет рассматриваться как начальная жесткость испытуемого образца, и использоваться как начальное значение при определении момента разрушения испытуемого образца.

После определения начальной жесткости испытуемого образца выбирают уровень деформации, которому будет подвергаться испытуемый образец в течение не менее 10000 циклов до

тех пор, пока его жесткость не снизится на 50 % и более от начальной жесткости. Снижение жесткости на 50 % и более считается моментом разрушения образца. До момента разрушения на образец прикладывается не менее 10000 циклов приложения нагрузки, в противном случае падение жесткости образца считается слишком быстрым.

После выбора соответствующих параметров тестирования начинают испытания. Включают испытательную установку, устанавливают необходимую периодичность записи результатов испытаний и начинают испытание. Испытания завершают, как только жесткость образца снизится на 50 %.

Определение истираемости

Сущность метода заключается в определении потери массы испытуемого образца, подвергнутого истирающему воздействию стальных шаров аналогично воздействию на асфальтобетон шиповатых шин.

При проведении испытаний для каждого испытуемого образца выполняют следующие действия:

- помещают испытуемый образец в испытательную камеру. Образцы, приготовленные в лаборатории, устанавливают опиленной поверхностью вверх, образцы, отобранные из покрытия, — неопиленной поверхностью вверх. Образец должен быть жестко закреплен в испытательной камере. Допускается использование специальных прокладок между образцом и стенкой камеры с целью предотвращения перемещения образца во время испытания;
- помещают кольцеобразную прокладку на образец, стальные шары помещают в кольцевую прокладку и закрывают крышку испытательной камеры;
- проводят испытание в течение (15 + 1) мин при частоте подъема поршня (950 + 10) циклов в минуту, при этом расход воды должен составлять (2,0 + 0,2) л/мин;
- после завершения испытания образец вынимают из установки и промывают холодной водой;
- обтирают образец влажным полотенцем и определяют массу с точностью до 0,1 г.

Истираемость асфальтобетона $I_{аб}$, см³, вычисляют до целого числа по формуле:

$$I_{аб} = \frac{m_1 - m_2}{G_{mb}}$$

где m_1 — масса образца перед испытаниями, г;
 m_2 — масса образца после испытания, г;
 G_{mb} — объемная плотность образца, г/см³ с точностью до первого знака после запятой, определяемая по ПНСТ 106—2016.

Контрольные вопросы

1. Какие современные методы испытаний асфальтобетонов вы знаете?
2. Что такое устойчивость к колееобразованию и как ее определяют?
3. Как определяют усталостную прочность при многократном изгибе?
4. Определение устойчивости асфальтобетона к истиранию шипованными шинами.