

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

Г. И. Надыкто, В. Д. Галдина

ДОРОЖНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОН

Учебное пособие



Омск – 2018

УДК 625. 855. 3
ББК 26.325.38
Н17

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. Е. А. Бедрин (директор ООО «Сибцентр»);
канд. техн. наук, доц. В.Г. Степанец (СибАДИ)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве учебного пособия.

Надыкто, Григорий Иванович.

Н17 Дорожный асфальтобетон и полимерасфальтобетон [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.И. Надыкто, В.Д. Галдина. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2018. – Режим доступа свободный после авторизации. – Загл. с экрана.

Приводятся теоретические представления о формировании структуры полимерно-битумных вяжущих на основе полимера СБС и технология их приготовления. Описаны методики определения физико-механических свойств, технология приготовления и уплотнения асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесей в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

Имеет интерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначено для бакалавров, специалистов и магистров направления «Строительство» всех форм обучения при подготовке к лекционным занятиям и лабораторным работам по дисциплинам «Дорожно-строительное материаловедение», «Дорожно-строительные материалы», «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» и содержит теоретические сведения и технические требования к дорожным асфальтобетонам и полимерасфальтобетонам.

Пособие будет полезно аспирантам и инженерно-техническим работникам, занимающимся исследованием органических вяжущих и материалов на их основе.

Подготовлено на кафедре «Строительные материалы и специальные технологии».

Текстовое (символьное) издание (6 МБ)

Системные требования : Intel, 3,4 GHz ; 150 МБ ; Windows XP/Vista/7 ; DVD-ROM ;
1 ГБ свободного места на жестком диске ; программа для чтения pdf-файлов
Adobe Acrobat Reader ; Foxit Reader

Редактор И.Г. Кузнецова
Техническая подготовка Н.В. Кенжалинова

Издание первое. Дата подписания к использованию
Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5
РИО ИПК СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2018

ВВЕДЕНИЕ

Со второй половины XX в. наибольшее распространение в промышленно развитых странах, в том числе и Российской Федерации, получили асфальтобетонные покрытия. Они применяются на автомобильных дорогах любой грузонапряженности.

Это объясняется рядом положительных качеств, а именно:

- достаточной механической прочностью;
- способностью воспринимать упругие и пластические деформации;
- хорошим сцеплением с шинами транспортных средств, обеспечивающих условия безопасного дорожного движения;
- ровностью покрытия, обеспечивающей комфортность и бесшумность скоростного движения транспортных средств и удобство пассажирам;
- гигиеничностью, позволяющей легко промывать и очищать покрытия;
- демпфирующей способностью, позволяющей гасить колебания и вибрацию, возникающую при движении транспорта;
- технологичностью и ремонтпригодностью, обеспечивающими простоту выполнения ремонтных работ и устранения дефектов;
- возможностью полной механизации работ при приготовлении, строительстве и ремонте.

Первые асфальтобетонные покрытия в Европе появились во Франции в первой половине XIX в. Начало применения асфальтобетона в России для устройства городских дорожных покрытий относится к 70-м гг. позапрошлого столетия. Кроме того, нельзя не учитывать то обстоятельство, что Россия имеет практически неограниченные сырьевые ресурсы для производства основного компонента для приготовления асфальтобетонных смесей – нефтяных битумов и других органических вяжущих на их основе.

Асфальтобетон применяют главным образом для строительства верхних и нижних слоев покрытий, устройства верхних слоев оснований, слоев поверхностной обработки автомобильных дорог, городских дорог и тротуаров, взлетно-посадочных полос и магистральных рулёжных дорожек аэродромов, покрытий мостов.

В качестве минеральных составляющих асфальтобетона в зависимости от его вида используются: щебень разной крупности, каменная мелочь, высевки, гравий, песок и минеральный порошок.

Нефтяной дорожный битум, являющийся органическим вяжущим в асфальтобетоне, обладает пластичностью, способностью без разрушения выдерживать воздействие эксплуатационных температур и различных деформаций. В современных условиях эксплуатации (высокая интенсивность движения, большие нагрузки на ось транспортных средств, применение шипованной резины) традиционные асфальтобетоны на вязких дорожных битумах не могут обеспечить долговечность верхних слоев дорожных покрытий. Развитие автомобильного транспорта вызывает необходимость усиливать: сопротивление покрытий формированию необратимых деформаций (сдвигоустойчивость) при высоких температурах; трещиностойкость при низких отрицательных температурах; устойчивость против выкрашивания, шелушения и выбоин под действием воды и переменного замораживания-оттаивания; устойчивость против старения, усталостную прочность.

Во всем мире проводятся работы по повышению долговечности дорожных покрытий. Одним из направлений такой деятельности является модификация битума различными полимерными добавками с получением полимерно-битумных вяжущих (ПБВ). Полимерно-битумные вяжущие отличаются от битумов повышенными показателями когезии, теплоустойчивости, трещиностойкости, эластичности и устойчивости к старению.

По сравнению с асфальтобетонами на битумах полимерасфальтобетоны на основе ПБВ характеризуются меньшей чувствительностью к изменению температуры, повышенной динамической устойчивостью, сдвигоустойчивостью и деформативностью при низких температурах, более высокой устойчивостью к старению. Полимерно-битумные вяжущие рекомендовано получать в специальных установках, используя вязкие дорожные битумы, блоксополимеры типа стирол-бутадиен-стирол (СБС), пластификаторы и при необходимости адгезионные добавки. Применение полимерасфальтобетонных смесей в России в широком масштабе позволит значительно повысить качество и долговечность дорожных покрытий, сократить затраты на проведение ремонтных работ и высвободить средства на развитие сети дорог.

1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Асфальтобетонная смесь – рационально подобранная смесь минеральных материалов [щебня (гравия) и песка с минеральным порошком или без него] с битумом, взятых в определенных соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии.

Асфальтобетон – уплотненная асфальтобетонная смесь.

Полимерно-битумное вяжущее (ПБВ) – вяжущее на основе вязких дорожных битумов, полученное введением полимеров – блок-сополимеров типа стирол-бутадиен-стирол (СБС), пластификаторов и поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Полимерасфальтобетонная смесь – рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня, песка и минерального порошка), взятых в регламентированных соотношениях, с ПБВ и перемешанных в нагретом состоянии.

Полимерасфальтобетон – уплотненная полимерасфальтобетонная смесь.

Асфальтобетон, представляющий собой смесь минерального материала с битумом, обладает рядом специфических свойств, обусловленных наличием в его составе минерального остова и битума, изменяющего свои свойства в различных условиях работы покрытия. Существенной особенностью асфальтобетона является зависимость его физико-механических свойств от структуры, которая, согласно современным представлениям [1, 2, 3, 6, 7, 8], определяется количеством и качеством зернистых минеральных составляющих, взаимным расположением зерен и характером связей между ними. Это не исключает влияния на его свойства других структурных факторов, таких как вид, крупность, характер поверхности и минеральных зерен, их минералогический состав. Именно комплекс этих факторов приводит к формированию асфальтобетона как сложной многокомпонентной системы, которую проф. И. А. Рыбьев [3, 4, 9] предлагает рассматривать как конгломератный или брекчиевидный материал, состоящий из минерального остова, связанного в монолит асфальтовязущим веществом.

Такой подход к структуре асфальтобетона позволяет отнести его к искусственным строительным конгломератам, которые являются аналогами сцементированных осадочных горных пород, и использо-

вать при анализе структуры асфальтобетона представления петрографии осадочных горных пород.

Учитывая особенности структурообразования асфальтобетонов, проф. М. И. Волков и его школа разработали классификацию и терминологию типов двухкомпонентных структур асфальтобетонов и других искусственных строительных конгломератов (рис.1):

- *базальная структура*: образуется при большом объеме цементирующего вещества, заполняющего межзерновое пространство минеральных частиц и раздвигающего их настолько, что зерна не соприкасаются (рис.1, а);

- *поровая структура*: образуется при заполнении цементирующим веществом межзерновых пустот каркаса из минеральных зерен (рис.1, в);

- *контактная структура*: образуется при незначительном количестве цементирующего вещества, распределенного по поверхности минеральных зерен в виде пленок. Минеральные зерна образуют каркас, межзерновое пространство которого не заполнено (рис.1, д);

- *порово-базальная и контактно-поровая*: переходные типы структур, в которых имеются области, образованные по типу той или иной структуры (рис.1, б, г).

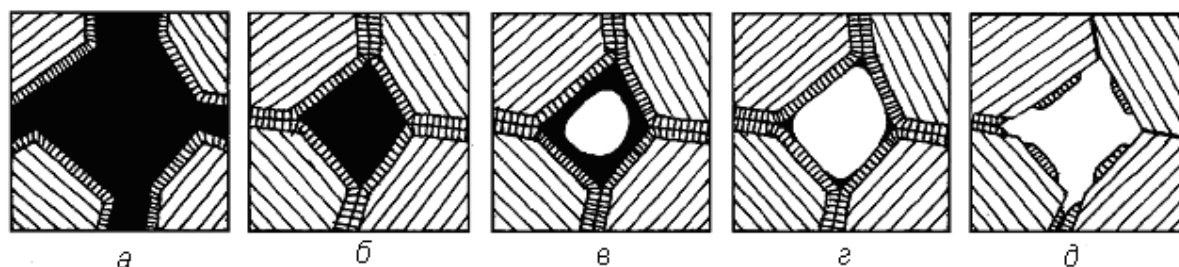


Рис. 1. Типы двухкомпонентных структур: а – базальная; б – порово-базальная; в – поровая; г – контактно-поровая; д – контактная

Данная структурная классификация близка представлениям физико-химической механики, рассматривающей искусственные конгломераты как дисперсные системы, в которых взаимодействуют твердая фаза и заполняющая среда. Это позволяет, учитывая сложность структуры асфальтобетона, вытекавшую из многообразия составляющих материалов и различия их свойств, рассматривать многокомпонентную систему асфальтобетона как комплекс взаимосвязанных простых двухкомпонентных структур типа «фаза – среда»:

- микроструктура – структура асфальтовяжущего, являющегося суспензией минерального порошка (фазы) в битуме (среде);
- мезоструктура – структура асфальтового раствора, представленного песчаными зернами (фазой) в асфальтовяжущем (среде);
- макроструктура – структура асфальтобетона, представленного зернами щебня или гравия (фазой) в асфальтовом растворе (среде).

Таким образом, упрощается исследование асфальтобетона в целом, так как такой подход позволяет изучение сложной многокомпонентной структуры асфальтобетона свести к изучению более простых двухкомпонентных структур, которые в некоторых пределах можно рассматривать самостоятельно. Наряду с физико-химическим взаимодействием минеральных материалов с битумом количественное соотношение составляющих является одним из наиболее существенных факторов, определяющих образование тех или иных качественно различных структур.

Свойства асфальтобетона определяются свойствами и соотношением составляющих его бинарных систем, степенью насыщения их основными структурообразующими компонентами, входящими в каждую из структурных составляющих асфальтобетона и определяющих их свойства и характер: в структуре асфальтовяжущего это минеральный порошок, в мезоструктуре – песок, в макроструктуре – щебень (гравий).

Анализируя структурные особенности и свойства бинарных систем при повышении концентрации основного структурообразующего компонента (фазы), исследователи отметили вначале слабое, линейное возрастание прочности системы, затем интенсивный рост прочности системы до максимума и при повышении концентрации фазы выше оптимальной быстрое понижение прочности системы [1, 2, 6, 7, 8]. Данная зависимость характерна для микро-, мезо- и макроструктур (базальной, поровой и контактной).

Установлено, что базальная структура характеризуется в основном свойствами среды, т.е. битума в микроструктуре, асфальтовяжущего в мезоструктуре и асфальтового раствора в макроструктуре, так как зерна фазы разделены толстыми прослойками среды и выполняют функцию заполнителя объема. Размер, особенности поверхности, форма зерен, химический и минералогический составы не оказывают существенного влияния на свойства системы [8, 9].

В ряде работ отмечено падение прочности системы после введения незначительного количества крупных зерен фазы [8]. Падение

прочности бинарной системы при малом содержании крупных частиц исследователи связывают с увеличением неоднородности системы, появлением концентраторов напряжения. По мере повышения концентрации фазы в системе отдельные «плавающие» зерна соприкасаются через прослойку структурированного битума в микроструктуре, асфальтовяжущего в мезоструктуре и асфальтового раствора в макроструктуре. Данная ситуация характеризует появление порово-базальной и начало формирования поровой структуры, при которой наблюдается интенсивное структурообразование, сопровождающееся изменением свойств бинарной системы вплоть до предельного значения показателя свойства.

Именно при поровой структуре особенно ярко проявляются эффективность физико-химического взаимодействия минеральных материалов с битумом, размер и форма зерен, микрорельеф их поверхности. Это послужило причиной детального изучения особенностей формирования поровой структуры в бинарных системах, особенно в микро- и макроструктурах. Увеличение вязкости и механической прочности системы при повышении концентрации минерального порошка в асфальтовяжущем отмечал проф. И.В. Сахаров. Дальнейшие исследования выявили влияние на структурообразование асфальтовяжущего гранулометрического состава и тонкости помола минерального порошка. В последующих работах по исследованию формирования микроструктуры авторы приходят к выводу, что физико-механические свойства асфальтовяжущего в первую очередь зависят от физико-химических процессов, происходящих на поверхности раздела минерального зерна и битума. К этим процессам относятся явления смачивания и адсорбции. Интенсивность этих процессов будет зависеть от величины поверхности, на которой они протекают, т.е. от степени дисперсности материала [7, 8, 9, 10].

Установлено, что на структурообразование асфальтовяжущего, кроме физической и химической адсорбций, при применении пористых минеральных материалов оказывает влияние избирательная диффузия низкомолекулярных компонентов битума под влиянием капиллярных сил вглубь минеральных зерен по капиллярам и микротрещинам, соизмеримым с размерами структурных компонентов битума. Данные факторы обуславливают различную степень структурирующего воздействия минеральных порошков на битум [1, 7, 9]. При равных концентрациях различные минеральные порошки в асфальтовяжущем образуют равнопрочные системы с той или иной интенсивно-

стью структурообразования вплоть до предельного значения, которое характеризует переход к контактной структуре, при которой в системе появляется воздушная фаза и начинается разупрочнение контактов и всей системы в целом [7, 9].

Повышение концентрации песка в поровой структуре асфальтового раствора характеризуется возрастанием прочности системы, однако рост прочности раствора происходит более медленно, чем асфальтовяжущего при повышении концентрации минерального порошка, так как одновременно с ростом прочности системы происходит снижение суммарной адгезионной прочности на границе контакта вяжущего с песком. Рост прочности системы с повышением концентрации песка происходит при наличии в асфальтовяжущем свободного или слабоструктурированного битума, который переходит на поверхность зерен песка, тем самым создается более прочная структура асфальтовяжущего. При применении в мезоструктуре асфальтовяжущего оптимальной структуры, т.е. имеющего максимальную прочность и плотность для данного минерального порошка и битума [9], происходит понижение прочности системы вследствие перехода части битума на поверхность зерен песка и появления пористости.

Интенсивность нарастания или понижения прочности мезоструктуры зависит от свойств песчаной составляющей. Так, прочность раствора и значение структурообразующей концентрации песка в значительной степени зависят от крупности зерен, степени их окатанности, удельной поверхности, пористости и химико-минералогических свойств поверхности. Упрочнение системы при введении песчаной составляющей происходит за счет повышения внутреннего трения. Даже пески, обладающие низкой активностью по отношению к вяжущему, но имеющие остроугольную форму зерен и шероховатую поверхность, интенсивно повышают величину предельного напряжения сдвига системы.

Понижение крупности зерен песчаной составляющей мезоструктуры ведет к уменьшению структурообразующей концентрации песка в системе, что связано с повышением удельной поверхности и уменьшением набора фракции зерен песка, приводящих к увеличению пористости и снижению плотности асфальтового раствора. Процессы структурообразования в поровой макроструктуре асфальтобетона при повышении концентрации щебня (гравия) сопровождаются дальнейшим увеличением предельного напряжения сдвига системы за счет увеличения плоскостей скольжения и их шероховатости. Следствием

этого является основное назначение щебня (гравия) в системе, которое заключается в формировании жесткого пространственного каркаса, обеспечивающего сдвигоустойчивость асфальтобетона [7, 9]. Кроме этого, при образовании пространственного каркаса рационально используются свойства структурированных битумных пленок, разделяющих зерна щебня (гравия).

Снижение прочности бинарных систем при повышении концентрации основных структурообразующих компонентов сверх предельной и переходе к контактному типу структуры объясняется появлением воздушной фазы, которая в асфальтовяжущем образуется ещё до достижения системой оптимального состояния. В мезо- и макроструктуре, кроме этого, при переходе к контактному типу структуры происходит утолщение слоя вяжущего на минеральной поверхности, что связано с укрупнением зерен минеральной части при повышении концентрации в системе песка и особенно щебня (гравия). Вследствие этого толстые слабоструктурированные пленки битума играют роль смазки и понижают внутреннее трение в системе.

Понижение степени структурирования битума при переходе к контактно-поровой и особенно контактной макроструктурам происходит и вследствие понижения концентрации минерального порошка в асфальтовяжущем, что связано с технологическими факторами (удобоперемешиваемостью и удобообрабатываемостью смеси). Экспериментально доказано, что максимальная прочность асфальтобетона с тем или иным типом макроструктуры может быть достигнута лишь в случае, если им соответствуют определенные типы мезо- и микроструктуры [1, 6, 7, 8, 9]. Следовательно, для получения асфальтобетонных с оптимальными свойствами необходимо рационально сочетать различные типы бинарных структур, зная их взаимосвязь.

Изучению взаимосвязи структур в дорожных асфальтобетонах посвятили свои работы советские ученые: М.И. Волков, Н.В. Горелышев, В.А. Золотарев, И.В. Королев, И.А. Рыбьев. Наиболее наглядно современные представления о взаимосвязи структур в асфальтобетоне характеризует схема, предложенная проф. И. В. Королевым (рис. 2), при этом он указывает, что «... из возможных связей структур будет оптимальна та, при которой в наибольшей степени реализуются потенциальные возможности материала» [8].

Однако, как показывает практика дорожного строительства, для приготовления асфальтобетона используются различные каменные материалы и промышленные отходы, обладающие широким разнооб-

разием физико-механических свойств, вследствие чего задача быстрого определения оптимальных структуры и состава асфальтобетона бывает крайне затруднена. Важность и необходимость проводимых исследований по изучению взаимосвязи структур заключаются в стремлении получить асфальтобетон, обладающий заданными для конкретных климатических и эксплуатационных условий свойствами.



Рис. 2. Взаимосвязь структур в асфальтобетоне

Многочисленные исследования важного вопроса получения асфальтобетонов с заданными свойствами, связанного со специфическим характером взаимосвязи бинарных структур, также недостаточно изученных, не позволяют считать его окончательно решенным.

Контрольные вопросы

1. Что такое асфальтобетонная смесь?
2. Что такое асфальтобетон?
3. Какие виды двухкомпонентных структур различают в асфальтобетоне?
4. Какие существуют макроструктурные типы асфальтобетона?
5. Что такое асфальтовязующее вещество?

6. Как влияет изменение концентрации основного структурообразующего компонента на изменение прочности бинарной системы?
7. Что такое полимерно-битумное вяжущее?
8. Чем полимерасфальтобетон отличается от асфальтобетона?

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АСФАЛЬТОБЕТОННЫМ СМЕСЯМ И АСФАЛЬТОБЕТОНАМ

Асфальтобетонные смеси (далее – смеси) и асфальтобетоны в зависимости от вида минеральной составляющей подразделяют [11] на щебеночные, гравийные и песчаные.

В зависимости от вязкости применяемого битума и температуры приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонные смеси подразделяют на горячие и холодные.

Горячие асфальтобетонные смеси готовят на вязких нефтяных дорожных битумах по ГОСТ 22245 [12] и ГОСТ 33133 [13]. Температура горячих смесей при укладке должна быть не ниже 110 °С. Формирование асфальтобетона из таких смесей в основном заканчивается после уплотнения и остывания конструктивного слоя дорожной одежды.

Холодные асфальтобетонные смеси готовят на жидких нефтяных дорожных битумах по ГОСТ 11955 [14]. Холодные смеси до их укладки на дорогу можно хранить на складе от 2 недель до 8 месяцев. Укладка и уплотнение холодных смесей производятся при температуре воздуха не ниже 5 °С. Холодные смеси из-за пониженного содержания битума и повышенного содержания минерального порошка являются жесткими и трудно уплотняются, поэтому слои из них в начальный период обладают повышенной пористостью. Формирование холодного асфальтобетона продолжается 4 – 10 недель в зависимости от класса жидкого битума, погодных условий и степени доуплотняющего воздействия автотранспорта.

Горячие асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны в зависимости от наибольшего размера зерен щебня или гравия подразделяют на крупнозернистые (зерна до 40 мм), мелкозернистые (зерна до 20 мм) и песчаные (зерна до 10 мм).

Холодные асфальтобетонные смеси делятся на мелкозернистые и песчаные.

По плотности (пористости) асфальтобетоны из горячей смеси с учетом их назначения подразделяют на виды:

- *высокоплотные* – с остаточной пористостью от 1,0 до 2,5% объема, применяемые в однослойных и верхних слоях покрытий и обязательно содержащие минеральный порошок;
- *плотные* – с остаточной пористостью от 2,5 до 5% объема, применяемые в верхних слоях покрытий, в нижних слоях покрытий и верхних слоях оснований и обязательно содержащие минеральный порошок;
- *пористые* – с остаточной пористостью от 5 до 10% объема, применяемые в нижних слоях покрытий и верхних слоях оснований при пониженном содержании минерального порошка;
- *высокопористые* – с остаточной пористостью более 10% объема, применяемые в нижних слоях покрытий и основаниях при пониженном содержании минерального порошка.

Холодные асфальтобетоны в начале эксплуатации дороги должны иметь остаточную пористость св. 6 до 10% объема из-за начального недоуплотнения, но в процессе формирования их плотность повышается.

Плотные асфальтобетоны по содержанию в них щебня (гравия) или песка (природного окатанного и отсево дробления) подразделяют на типы, указанные в табл. 1.

Асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны в зависимости от показателей физико-механических свойств асфальтобетона и применяемых материалов подразделяются на марки, указанные в табл. 2.

Асфальтобетонные смеси должны приготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 9128 по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке предприятием-изготовителем.

Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов должны соответствовать установленным в табл. 3 для нижних слоев покрытий и оснований, в табл. 4 – для верхних слоев покрытий.

Показатели физико-механических свойств высокоплотных и плотных асфальтобетонов из горячих смесей различных марок, применяемых в конкретных дорожно-климатических зонах, должны соответствовать указанным в табл. 5.

Таблица 1

**Типы асфальтобетона в зависимости от содержания щебня (гравия)
или песка**

Тип асфальтобетона	Содержание щебня (гравия), % массы минеральной части	Вид, характеристика и состав песка
Горячие		
Высокоплотный	Щебня св. 50 до 70	Природный, отсев дробления и их смеси
А	Щебня (гравия) св. 50 до 60	То же
Б	св. 40 до 50	То же
В	св. 30 до 40	То же
Г	от 0 до 30	Отсевы дробления
Д	от 0 до 30	Природный или смесь с отсевами дробления
Холодные		
Б _х	Щебня (гравия) св. 40 до 50	Природный, отсеvy дробления и их смеси
Б _х	Щебня (гравия) св. 40 до 50	Природный, отсеvy дробления и их смеси
В _х Г _х , Д _х	Св. 30 до 40 от 0 до 30	Природный, отсеvy дробления и их смеси То же, что для типов Г и Д

Таблица 2

Марки асфальтобетона

Виды и типы смесей и асфальтобетонов	Марки
Горячие:	
- высокоплотные	І
- плотные типов:	
А	І, ІІ
Б, Г	І, ІІ, ІІІ
В, Д	ІІ, ІІІ
- пористые	І, ІІ
- высокопористые щебеночные	І
- высокопористые песчаные	ІІ
Холодные типов:	
Б _х , В _х	І, ІІ
Г _х	І, ІІ
Д _х	ІІ
- высокопористые щебеночные	І

Таблица 3

**Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов
для нижних слоев покрытий и верхних слоев оснований**

Вид и тип смесей и асфальтобетонов	Размер зерен, мм, мельче										
	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Плотные типов:	Непрерывные зерновые составы										
А	90-100	66-90	56-70	48-62	40-50	28-38	20-28	14-20	10-16	6-12	4-10
Б	90-100	76-90	68-80	60-72	50-60	38-48	28-37	20-28	14-22	10-16	6-12
Прерывистые зерновые составы											
А	90-100	66-90	56-70	48-62	40-50	28-50	20-50	14-50	10-28	6-16	4-10
Б	90-100	76-90	68-80	60-72	50-60	38-60	28-60	20-60	14-34	10-20	6-12
Пористые	90-100	75-100	64-100	52-88	40-60	28-60	16-60	10-60	8-37	5-20	2-8
Высокопористые щебеночные	90-100	55-75 (90-100)	35-64	22-52	15-40	10-28	5-16	3-10	2-8	1-5	1-4
Высокопористые песчаные	—	—	—	—	70-100	64-100	41-100	25-85	17-72	10-45	4-10

Примечания: 1. В скобках указаны требования к зерновым составам минеральной части асфальтобетонных смесей при ограничении проектной документацией крупности применяемого щебня.

2. При приемосдаточных испытаниях допускается определять зерновые составы смесей по контрольным ситам в соответствии с данными, выделенными жирным шрифтом.

Таблица 4

**Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов
для верхних слоев покрытий**

Вид и тип смесей и асфальто- бетонов	Размер зерен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
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
плотные типов:										
Непрерывные зерновые составы										
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- 33	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- 100	70- 100	50- 60	38- 60	28- 60	20- 60	14- 34	10- 20	6-12
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

Примечания: 1. В скобках указаны требования к зерновым составам минеральной части асфальтобетонных смесей при ограничении проектной документацией крупности применяемого щебня.

2. При приемосдаточных испытаниях допускается определять зерновые составы смесей по контрольным ситам в соответствии с данными, выделенными жирным шрифтом.

Таблица 5

**Показатели физико-механических свойств высокоплотных и плотных
асфальтобетонов из горячих смесей различных марок**

Показатель	Значение 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	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее, для асфальтобетонов: высокоплотных	1,0	1,1	1,2	—	—	—	—	—	—
плотных типов:									
А	0,9	1,0	1,1	0,8	0,9	1,0	—	—	—
Б	1,0	1,2	1,3	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,1
В	—	—	—	1,1	1,2	1,3	1,0	1,1	1,2
Г	1,1	1,3	1,6	1,0	1,2	1,4	0,9	1,0	1,1
Д	—	—	—	1,1	1,3	1,5	1,0	1,1	1,2
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не менее	2,5	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0
Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С для асфальтобетонов всех типов, МПа, не более	9,0	11,0	13,0	10,0	12,0	13,0	10,0	12,0	13,0
Водостойкость плотных асфальтобетонов, не менее	0,95	0,90	0,85	0,90	0,85	0,80	0,85	0,75	0,70
Водостойкость высокоплотных асфальтобетонов, не менее	0,95	0,95	0,90	—	—	—	—	—	—
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
Водостойкость высокоплотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении, не менее	0,95	0,90	0,85	—	—	—	—	—	—

Водонасыщение высокоплотных и плотных асфальтобетонов из горячих смесей должно соответствовать указанному в табл. 6.

Физико-механические свойства пористых и высокопористых асфальтобетонов из горячих смесей должны соответствовать показателям, указанным в табл. 7.

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов из холодных смесей различных марок должны соответствовать указанным в табл. 8.

Таблица 6

Водонасыщение высокоплотных и плотных асфальтобетонов из горячих смесей

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

Примечание. В скобках приведены значения водонасыщения для образцов из перформованных вырубок и кернов.

Таблица 7

Показатели физико-механических свойств пористых и высокопористых асфальтобетонов из горячих смесей

Показатель	Значение для марки	
	I	II
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее	0,7	0,5
Водостойкость, не менее	0,7	0,6
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,6	0,5
Водонасыщение, % по объему, для:		
пористых асфальтобетонов	Св. 4,0 до 10,0	Св. 4,0 до 10,0
высокопористых асфальтобетонов	Св. 10,0 до 18,0	Св. 10,0 до 18,0

Примечания: 1. Для крупнозернистых асфальтобетонов предел прочности при сжатии при температуре 50 °С и показатели водостойкости не нормируются.

2. Для вырубок и кернов нижние пределы водонасыщения не нормируются.

**Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов
из холодных смесей**

Показатель	Значение для марки и типа			
	I		II	
	Бх, Вх	Гх	Бх, Вх	Гх, Дх
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 из холодных смесей должна быть, %, не более для типов:

Бх..... 18;

Вх..... 20;

Гх и Дх 21.

Асфальтобетоны из холодных смесей типов Бх, Вх, Гх и Дх должны иметь остаточную пористость свыше 6,0% до 10,0%, водонасыщение – от 5 до 9 % по объему.

Слеживаемость холодных смесей, характеризуемая числом ударов по ГОСТ 12801, должна быть не более 10 [15].

В ГОСТ 9128 нормируется температура горячих и холодных смесей при отгрузке потребителю и на склад (табл. 9). С повышением температуры смеси вследствие снижения вязкости битума облегчается его перемешивание с минеральными компонентами. Однако при этом интенсифицируется старение вяжущего, что влечет за собой целый ряд негативных последствий. При последующем совершенствовании нормативной базы в области дорожного асфальтобетона данное положение должно быть рассмотрено детальным образом.

Смеси должны выдерживать испытание на сцепление битумов с поверхностью минеральной части. Определение сцепления проводят по разделу 24 ГОСТ 12801 путем визуальной оценки величины поверхности минерального материала, сохранившего пленку вяжущего после кипячения в водном растворе поваренной соли.

Таблица 9

**Температура при выпуске горячих и холодных смесей в зависимости
от вязкости битума**

Вид смеси	Температура смеси, °С, в зависимости от показателей битума						
	глубины проникания иглы 0,1 мм при 25 °С, мм					условной вязкости по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60 °С, с	
	40–60	61–90	91–130	131–200	201–300	70–130	131–200
Горячая	От 150 до 160	От 145 до 155	От 40 до 150	От 130 до 140	От 120 до 130	–	От 110 до 120
Холодная	–	–	–	–	–	От 80 до 100	От 100 до 120

Примечания: 1. При использовании ПАВ или активированных минеральных порошков допускается снижать температуру горячих смесей на 10 – 20 °С.

2. В зависимости от погодных условий и для высокоплотных асфальтобетонов допускается увеличивать температуру готовых смесей на 10 – 20 °С, соблюдая при этом требования ГОСТ 12.1.005 к воздуху рабочей зоны.

Смеси должны быть однородными. Абсолютное значение отклонения содержания битума в смеси от проектного не должно превышать $\pm 0,5\%$ по массе. Однородность горячих смесей оценивают коэффициентом вариации предела прочности при сжатии при температуре 50 °С, холодных смесей – коэффициентом вариации водонасыщения. Коэффициент вариации должен быть не более указанного в табл. 10.

Таблица 10

Показатели однородности горячих и холодных смесей

Показатель	Максимальный коэффициент вариации для смесей марки		
	I	II	III
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С	0,16	0,18	0,20
Водонасыщение	0,15	0,15	–

Контрольные вопросы

1. Чем горячий асфальтобетон отличается от холодного?
2. При какой температуре производятся укладка и уплотнение горячих асфальтобетонных смесей?
3. При какой температуре производятся укладка и уплотнение холодных асфальтобетонных смесей?
4. Что такое остаточная пористость асфальтобетона?
5. На какие виды подразделяются асфальтобетоны по остаточной пористости?
6. На какие типы делятся асфальтобетоны в зависимости от содержания щебня (гравия) или песка?
7. Какие существуют марки горячего и холодного асфальтобетонов?
8. Чем непрерывный зерновой состав минеральной части асфальтобетона отличается от прерывистого?
9. При каких температурах определяют пределы прочности при сжатии и предел прочности на растяжение при расколе горячих асфальтобетонов?
10. Как оценивают слеживаемость холодных смесей?

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОННЫМ СМЕСЯМ И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОНАМ

Полимерасфальтобетонные смеси (далее – смеси) и полимерасфальтобетоны в зависимости от вида минеральных составляющих подразделяют на щебеночные и песчаные.

Смеси и полимерасфальтобетоны в зависимости от наибольшего размера минеральных зерен подразделяют на следующие виды:

- мелкозернистые с размером зерен до 20 мм;
- песчаные с размером зерен до 10 мм.

Полимерасфальтобетоны из смесей в зависимости от значения остаточной пористости подразделяют на следующие виды:

- высокоплотные – с остаточной пористостью от 1,0 до 2,5%;
- плотные – с остаточной пористостью от 2,5 до 4,0%.

Полимерасфальтобетоны в зависимости от содержания в них щебня подразделяют на следующие типы:

- высокоплотные – с содержанием щебня св. 50 до 65% (допускается до 70%);

– плотные типы:

А – с содержанием щебня св. 50 до 60%;

Б – с содержанием щебня св. 40 до 50%;

В – с содержанием щебня св. 30 до 40%.

Песчаные смеси и соответствующие им полимерасфальтобетоны в зависимости от вида песка подразделяют на следующие типы:

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

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

Смеси и полимерасфальтобетоны в зависимости от показателей физико-механических свойств полимерасфальтобетона и применяемых материалов подразделяют на марки, указанные в табл. 11.

Таблица 11

Виды, типы и марки смесей и полимерасфальтобетонов

Виды и типы смесей и полимерасфальтобетонов	Марки
Высокоплотные	I
Плотные типов:	
А	I
Б, Г	I
В, Д	II

Полимерасфальтобетонные смеси должны приготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 9128 [11] по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке предприятием-изготовителем. Зерновые составы минеральной части смесей и полимерасфальтобетонов должны соответствовать установленным в табл. 12 и 13 требованиям.

Показатели физико-механических свойств высокоплотных и плотных полимерасфальтобетонов из смесей различных марок, применяемые в конкретных дорожно-климатических зонах, должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 14.

Таблица 12

**Требования к зерновым составам минеральной части смесей
и полимерасфальтобетонов на основе ПБВ 300 и ПБВ 200
для слоев покрытий**

Виды и типы смесей и полимер- асфальто- бетонов	Размер зерен, мм, не более									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Высоко- плотные	90-100	70-100 (90- 100)	56- 100 (90- 100)	35- 50	24- 50	18- 50	13- 50	12- 50	11- 28	10- 16
Непрерывные зерновые составы										
Плотные типы: А	90-100	75-100 (90- 100)	62- 100 (90- 100)	40- 50	28- 42	20- 38	14- 30	10- 20	6- 14	4-11
Б	90-100	80-100	70- 100	50- 60	38- 53	28- 45	20- 38	14- 28	10- 17	6-12
В	90-100	85-100	75- 100	60- 70	48- 66	37- 60	28- 50	20- 34	13- 24	8-16
Г	—	—	100	70- 100	65- 90	45- 82	30- 60	20- 44	15- 34	8-20
Д	—	—	100	70- 100	60- 93	45- 85	30- 75	20- 55	15- 43	10- 27
Прерывистые зерновые составы										
А	90-100	75-85 (90- 100)	62-70 (90- 100)	40- 50	28- 50	28- 50	14- 50	10- 28	6- 16	4-11
Б	80-90	80-90 (90- 100)	70-77 (90- 100)	50- 60	38- 60	28- 60	20- 60	14- 34	10- 20	6-12

Примечание. В скобках указаны требования к зерновым составам минеральной части полимерасфальтобетонных смесей при ограничении проектной документацией крупности применяемого щебня.

Таблица 13

**Требования к зерновым составам минеральной части смесей
и полимерасфальтобетона на ПБВ 130, ПБВ 90, ПБВ 60 и ПБВ 40
для слоев покрытий**

Виды и типы смесей и полимерасфальтобетонов	Размер зерен, мм, не более									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Высокоплотные	90-100	70-100 (90-100)	56-100 (90-100)	35-50	24-50	18-50	13-50	12-50	11-28	10-16
Непрерывные зерновые составы										
Плотные типы:										
А	90-100	75-100	62-100	40-50	28-38	20-28	14-20	10-16	6-12	4-10
		(90-100)	(90-100)							
Б	90-100	80-100	70-100	50-60	38-48	28-37	20-28	14-22	10-16	6-12
В	90-100	85-100	75-100	60-70	48-60	37-50	28-40	20-30	13-20	8-14
Г	–	–	–	80-100	65-90	45-82	30-60	20-41	15-34	8-16
Д	–	–	100	80-100	60-93	45-85	30-75	20-55	15-33	10-21
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	80-90	80-100	70-77	50-60	38-60	28-60	20-60	14-34	10-20	6-12

Примечание. В скобках указаны требования к зерновым составам минеральной части полимерасфальтобетонных смесей при ограничении проектной документацией крупности применяемого щебня.

**Показатели физико-механических свойств высокоплотных
и плотных полимерасфальтобетонов**

Показатель	Значение для полимерасфальтобетонов марок:					
	I			II		
	для дорожно-климатических зон					
	I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
1	2	3	4	5	6	7
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, для полимерасфальтобетонов, не менее:						
– высокоплотных	0,9	1,0	1,1	–	–	–
– плотных типов:						
А	0,8	0,9	1,0	–	–	–
Б	0,9	1,1	1,2	–	–	–
В	–	–	–	1,0	1,1	1,2
Г	1,0	1,2	1,4	–	–	–
Д	–	–	–	1,0	1,2	1,4
Предел прочности при сжатии, при температуре 20 °С для полимерасфальтобетонов всех типов, МПа, не менее	1,9	2,0	2,0	1,8	1,8	1,8
Предел прочности при сжатии, при температуре 0 °С для полимерасфальтобетонов всех типов, МПа, не более	7,0	9,0	11,0	6,0	9,0	11,0
Водостойкость высокоплотных полимерасфальтобетонов, не менее	0,95	0,95	0,90	–	–	–
Водостойкость плотных полимерасфальтобетонов, не менее	0,95	0,90	0,85	0,90	0,85	0,80
Водостойкость высокоплотных полимерасфальтобетонов при длительном водонасыщении, не менее	0,95	0,90	0,85	–	–	–
Водостойкость плотных полимерасфальтобетонов при длительном водонасыщении, не менее	0,90	0,85	0,75	0,85	0,75	0,70
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин для полимерасфальтобетонов всех типов, МПа:						

не менее	2,4	2,8	3,2	2,0	2,4	2,8
не более	5,5	6,0	6,5	6,0	6,5	7,0
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее, для полимерасфальтобетонов:						
– высокоплотных	0,88	0,89	0,91	–	–	–
– плотных типов:						
А	0,86	0,87	0,89	–	–	–
Б	0,80	0,81	0,83	–	–	–
В	–	–	–	0,74	0,76	0,78
Г	0,78	0,80	0,82	–	–	–
Д	–	–	–	0,64	0,65	0,70
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при 50°C, МПа, не менее, для полимерасфальтобетонов						
– высокоплотных	0,20	0,22	0,24	–	–	–
– плотных типов:						
А	0,18	0,20	0,21	–	–	–
Б	0,26	0,30	0,31	–	–	–
В	–	–	–	0,30	0,34	0,35
Г	0,27	0,30	0,31	–	–	–
Д	–	–	–	0,38	0,43	0,44

Показатели водонасыщения полимерасфальтобетонов должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 15. При устройстве покрытий на мостах показатели водонасыщения должны быть минимально возможными при соблюдении всех остальных требований к полимерасфальтобетону.

Таблица 15

Показатели водонасыщения полимерасфальтобетонов

Вид и тип полимерасфальтобетонов	Значение показателя водонасыщения	
	для образцов, отформованных из смеси	для вырубок и кернов готового покрытия, не более
Высокоплотные	От 1,0 (0,5) до 2,5	2,0
Плотные типов:		
А	От 1,5 (1,0) до 3,5	3,0
Б, В и Г	От 1,0 (0,5) до 2,5	2,0
Д	От 1,0 (0,5) до 2,5	2,0

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

для высокоплотных..... 16%;

плотных типов:

А и Б..... 19%;

В, Г и Д..... 22%.

Температура полимерасфальтобетонных смесей при отгрузке потребителю в зависимости от показателей ПБВ должна соответствовать указанной в табл. 16.

Таблица 16

Температура полимерасфальтобетонных смесей при отгрузке

Глубина проникания иглы в ПБВ при 25 °С, 0,1 мм	Температура смеси, °С, в зависимости от показателя ПБВ
40 – 150	От 150 до 160
151 и более	От 140 до 150

Примечания: 1. Глубину проникания иглы в ПБВ при 25 °С определяют по ГОСТ 11501.

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

Смеси должны выдерживать испытание на сцепление ПБВ с поверхностью минеральной части в соответствии с ГОСТ 12801 [15]. Смеси должны быть однородными. Однородность горячих смесей оценивается коэффициентом вариации показателя предела прочности при сжатии при температуре 50 °С. Коэффициент вариации должен соответствовать указанному в табл. 17.

Таблица 17

Требования к однородности полимерасфальтобетонных смесей

Показатель	Значения коэффициента вариации по маркам, не более	
	I	II
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С	0,16	0,18

Примечание. Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С определяют по ГОСТ 12801.

Контрольные вопросы

1. При какой температуре производится отгрузка потребителю полимерасфальтобетонных смесей?
2. На какие виды подразделяются полимерасфальтобетоны в зависимости от наибольшего размера зерен?
3. На какие виды подразделяются полимерасфальтобетоны по остаточной пористости?
4. На какие типы делятся полимерасфальтобетоны в зависимости от содержания щебня или песка?
5. Какие существуют марки горячих полимерасфальтобетонов?
6. какие физико-механические свойства определяют у горячих полимерасфальтобетонов?
7. При каких температурах определяют пределы прочности при сжатии и предел прочности на растяжение при расколе горячих полимерасфальтобетонов?
8. При какой температуре определяют характеристики сдвигоустойчивости горячих полимерасфальтобетонов?
9. Как оценивают однородность горячих полимерасфальтобетонных смесей?

4. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ АСФАЛЬТОБЕТОНА И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОНА

Порядок отбора проб асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесей, а также изготовления образцов в лабораторных условиях и методы их испытаний изложены в ГОСТ 12801 [15]. Отбор проб для испытаний осуществляется следующим образом.

Отбор проб асфальтобетонных смесей

Отбор проб при приготовлении смесей в производственных смесительных установках начинают не ранее чем через 30 мин после начала выпуска смеси. Для испытаний необходимо отобрать объединенную пробу, составленную из трех-четырех тщательно перемешанных между собой точечных проб. Отбор точечных проб смесей производят в зависимости от производительности смесителя с интервалом от 15 до 30 мин. Точечные пробы отбирают непосредственно после выгрузки смеси из смесителя или накопительного бункера.

При проведении потребителем контрольных испытаний отбор проб производят из кузовов автомобилей, при этом из одного или нескольких автомобилей в зависимости от объема поставляемой партии отбирают три-четыре точечные пробы для одной объединенной пробы. Масса объединенной пробы смесей в зависимости от размера зерен минерального материала должна быть не менее указанной в табл. 18.

Таблица 18

Масса объединенной пробы в зависимости от размера зерен минерального материала

Наибольшая крупность минерального материала в смеси, мм	Масса объединенной пробы, кг	
	для приемосдаточных испытаний	для периодических испытаний
5	2,5	3,5
10, 15, 20	6,5	10
40	6 – для пористых и высокопористых смесей 17 – для плотных смесей	6 28

Отбор проб из покрытия

Для отбора проб из конструктивных слоев дорожных одежд выбирают участок покрытия на расстоянии не менее 0,5 м от края покрытия или оси дороги и размером не более 0,5 × 0,5 м. Отбор проб производят в виде вырубки прямоугольной формы или высверленных цилиндрических кернов. Цилиндрические керны высверливают на всю толщину покрытия (верхний и нижний слои вместе) с помощью буровой установки и разделяют слои в лаборатории. Перед разделением слоев кернов или вырубков оценивают сцепление между слоями и фактические толщины слоев.

Размеры вырубки и количество высверливаемых кернов с одного места устанавливают по максимальному размеру зерен и исходя из требуемого для испытаний количества образцов. Масса вырубки или кернов, отобранных с одного места, должна быть, не менее, кг:

- 1 – для песчаных смесей;
- 2 – для мелкозернистых смесей;
- 6 – для крупнозернистых смесей.

Диаметр кернов должен быть, не менее, мм:

- 50 – для проб из песчаного асфальтобетона;
- 70 – для проб из мелкозернистого асфальтобетона;
- 100 – для проб из крупнозернистого асфальтобетона.

При требовании заказчика определять пределы прочности при сжатии переформованных образцов массу вырубки или кернов следует увеличивать. Из вырубки выпиливают или вырубают три образца с ненарушенной структурой для определения средней плотности, водонасыщения, набухания и коэффициента уплотнения смесей в конструктивных слоях дорожных одежд. Образцы должны иметь форму, приближающуюся к кубу или прямоугольному параллелепипеду со сторонами от 5 до 10 см. Наличие трещин в образцах не допускается. Образцы-керна испытывают целиком. Допускается при необходимости керны распиливать или разрубать на части.

Перед испытанием образцы высушивают до постоянной массы при температуре не более 50 °С. Каждое последующее взвешивание проводят после высушивания в течение не менее 1 ч и охлаждения при комнатной температуре не менее 30 мин. Испытанные керны и образцы из вырубок, а также оставшиеся части вырубок и оставшиеся керны используют для изготовления переформованных образцов.

На каждую отобранную пробу асфальтобетонной смеси или вырубку составляют акт отбора проб, который включает:

- дату отбора пробы;
- обозначение и порядковый номер пробы;
- вид асфальтобетона;
- тип асфальтобетона;
- марку асфальтобетона;
- место отбора пробы смеси (название асфальтобетонного завода, смесительной установки, автомобильной дороги, пикета и т.п.);
- подписи ответственного за отбор пробы лица и лица с контролируемой стороны.

Упаковку и маркировку отобранных проб асфальтобетонных смесей осуществляют таким образом, чтобы до проведения испытаний или при хранении обеспечить сохранность свойств материала.

Приготовление асфальтобетонных смесей в лаборатории

При приготовлении асфальтобетонных смесей в лаборатории по горячей технологии минеральные материалы (щебень, песок, минеральный порошок) предварительно высушивают, а битум обезвоживают. Минеральные материалы в количествах, заданных по составу, отвешивают в емкость, нагревают, периодически помешивая, до температуры, указанной в табл. 19, и добавляют требуемое количество

ненагретого минерального порошка и нагретого в отдельной емкости вяжущего.

Таблица 19

Температуры нагрева асфальтобетонной смеси и ее компонентов

Материалы	Температура нагрева, °С, в зависимости от показателей вяжущего						
	Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм					Условная вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм, с	
	40-60	61-90	91-130	131-200	201-300	70-130	131-200
Минеральные материалы	170-180	165-175	160-170	150-160	140-150	100-120	120-140
Вяжущее	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. При применении поверхностно-активных веществ или активированных минеральных порошков для приготовления смесей с вязкими вяжущими температуры нагрева минеральных материалов, вяжущего и смесей снижают на 10–20 °С.

Смеси минеральных материалов с органическим вяжущим окончательно перемешивают в лабораторном смесителе до полного и равномерного объединения всех компонентов. Время, необходимое для перемешивания, устанавливают опытным путем для каждого вида смесей. Перемешивание считают законченным, если все минеральные зерна равномерно покрыты вяжущим и в готовой смеси нет его отдельных сгустков. Допускается смешивание вручную, при этом необходимо поддерживать в процессе приготовления горячих смесей температуру в соответствии с требованием табл. 19.

Порядок изготовления образцов

Физико-механические свойства асфальтобетонов определяют на образцах, полученных уплотнением смесей в стальных формах. Формы для изготовления цилиндрических образцов представляют собой стальные полые цилиндры, которые могут изготавливаться в виде кассеты с тремя взаимосвязанными цилиндрическими формами диаметром 71,4 или 50,5 мм или одиночных обычных (рис. 3) и облегченных (рис. 4) форм, размеры которых в зависимости от наибольшей крупности минеральных зерен приведены в табл. 20.

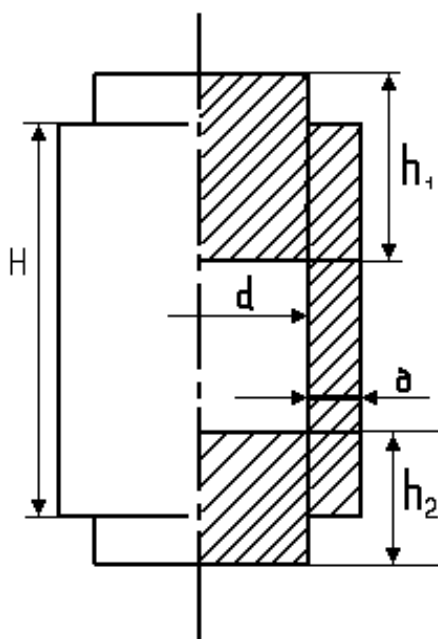


Рис. 3. Форма одиночная обычная

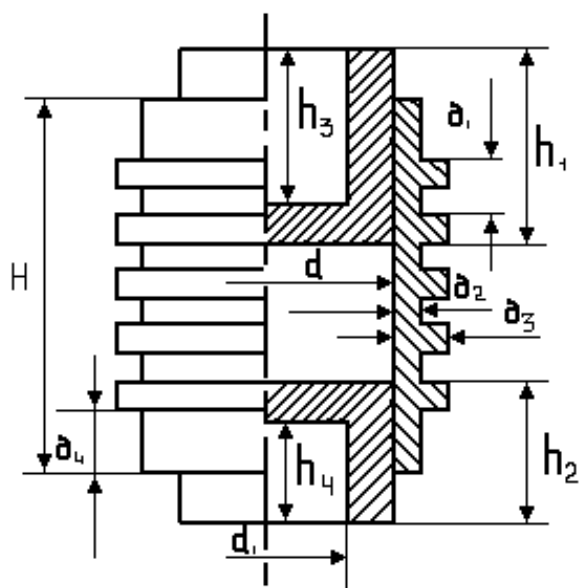


Рис. 4. Форма одиночная облегченная

Таблица 20

Размеры форм в зависимости от наибольшей крупности минеральных зерен

Наибольшая крупность минеральных зерен	Размер форм												Площадь образца, см ²
	d	d_1	H	h_1	h_2	h_3	h_4	δ	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	
Обычная													
5	50,5	—	130	80	50	—	—	10	-	—	—	—	20
10;15;20	71,4	—	160	100	60	—	—	12	-	—	—	—	40
40	101	—	180	110	70	—	—	12	-	—	—	—	80
Облегченная													
5	50,5	26,5	130	80	50	65	35	—	10	6	12	25	20
10;15;20	71,4	47,4	160	100	60	80	40	—	10	6	12	25	40
40	101	77	180	110	70	90	50	—	10	6	12	25	80

Для определения слеживаемости холодных смесей используют цилиндрические формы диаметром 71,4 мм, высотой 60 мм. Форма снабжена нижним и верхним вкладышами: в центре нижнего вкладыша укреплен стальной стержень, верхний вкладыш имеет в центре сквозное отверстие. Приспособление для уплотнения образца из хо-

лодных смесей и размеры образца приведены на рис. 5. Образцы цилиндрической формы для определения физико-механических свойств смесей изготавливают путем уплотнения смесей, приготовленных в лабораторных условиях, а также из проб смесей, отобранных на смесительных установках или на участке производства работ. Вырубки или керны нагревают на песчаной бане или в термостате до температуры, указанной в табл. 19, затем измельчают ложкой или шпателем.

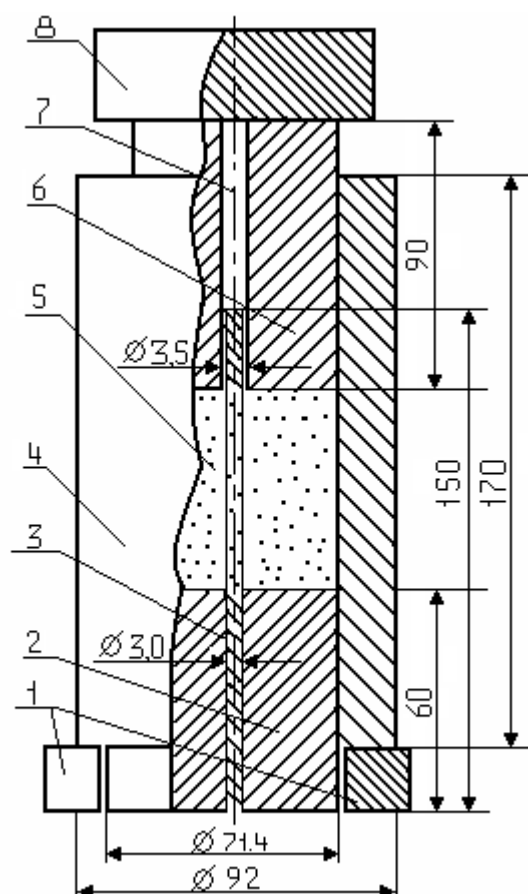


Рис. 5. Приспособление для уплотнения образцов из холодных смесей для определения слеживаемости: 1 – подставки; 2 – нижний вкладыш формы; 3 – стальной стержень; 4 – цилиндрическая форма; 5 – образец; 6 – верхний вкладыш формы; 7 – сквозное отверстие; 8 – груз

Холодные смеси перед уплотнением не нагревают. Порядок и режим уплотнения образцов из горячих смесей при их изготовлении зависят от типа смеси и содержания в ней щебня.

Уплотнение образцов из смесей, содержащих до 50% щебня по массе, производят прессованием под давлением $(40,0 \pm 0,5)$ МПа на гидравлических прессах в формах (см. рис. 3 и 4). При уплотнении должно быть обеспечено двустороннее приложение нагрузки, что достигается передачей давления на уплотняемую смесь через два вкладыша, свободно передвигающихся в форме навстречу друг другу.

При изготовлении образцов из горячих смесей формы и вкладыши нагревают до температуры $90 - 100$ °С. При изготовлении образцов из холодных смесей формы не нагревают. Изготавливают пробный образец. Форму со вставленным нижним вкладышем наполняют ориентировочным количеством смеси в соответствии с табл. 21.

Смесь равномерно распределяют в форме штыкованием ножом или шпателем, вставляют верхний вкладыш и, прижимая им смесь, устанавливают форму со смесью на нижнюю плиту пресса для уплотнения, при этом нижний вкладыш должен выступать из формы на $1,5 - 2,0$ см. Верхнюю плиту пресса доводят до соприкосновения с верхним вкладышем и включают электродвигатель пресса. Давление на уплотняемую смесь доводят до 40 МПа в течение $5 - 10$ с, через $(3,0 \pm 0,1)$ мин нагрузку снимают, а образец извлекают из формы выжимным приспособлением и измеряют его высоту штангенциркулем по ГОСТ 166 с погрешностью $0,1$ мм.

Таблица 21

Ориентировочное количество смеси в зависимости от размеров образца

Размеры образца, мм		Ориентировочное количество смеси на образец, г
диаметр	высота	
50,5	$50,5 \pm 1,0$	220–240
71,4	$71,4 \pm 1,5$	640–670
101,0	$101,0 \pm 2,0$	1900–2000

Если высота образца не соответствует приведенной в табл. 21, то требуемую массу смеси для формования образца g , г, рассчитывают по формуле

$$g = g_0 \frac{h}{h_0}, \quad (1)$$

где g_0 – масса пробного образца, г; h – требуемая высота образца, мм; h_0 – высота пробного образца, мм.

Образцы с дефектами кромок и непараллельностью верхнего и нижнего оснований бракуют. Уплотнение образцов из горячих сме-

сей, содержащих более 50% щебня по массе, следует производить вибрированием с последующим доуплотнением прессованием.

При изготовлении образцов формы, нагретые до 90 – 100 °С, наполняют смесью, устанавливают на виброплощадку, плотно укрепляют на ней специальным приспособлением (конструкция приспособления для укрепления зависит от типа виброплощадки). Вкладыши должны выступать из формы на 2 – 2,5 см. Смесью в форме вибрируют в течение $(3,0 \pm 0,1)$ мин при частоте (2900 ± 100) мин⁻¹, амплитуде $(0,40 \pm 0,05)$ мм и вертикальной нагрузке на смесь (30 ± 5) кПа, которая передается на смесь грузом, свободно навешенным на верхний вкладыш формы.

По окончании вибрации форму с образцом снимают с виброплощадки, устанавливают на плиту прессы для доуплотнения под давлением $(20,0 \pm 0,5)$ МПа и выдерживают при этом давлении 3 мин. Затем нагрузку снимают и извлекают образец из формы выжимным приспособлением.

Уплотнение образцов из холодных смесей, испытываемых на слеживаемость, производят в цилиндрических формах при температуре приготовления смеси. Нагретую до температуры (80 ± 2) °С форму устанавливают на две подставки, а нижний вкладыш со стержнем опускают в форму, как показано на рис. 5.

Смесь в количестве 440 – 460 г засыпают через воронку в форму. Верхний вкладыш вводят в форму так, чтобы стержень, укрепленный в нижнем вкладыше, свободно вошел в отверстие в верхнем вкладыше. Поддерживая форму, подставки убирают, а на верхний вкладыш устанавливают груз, масса которого вместе с массой верхнего вкладыша должна быть $(20,0 \pm 0,5)$ МПа, что обеспечивает нагрузку 0,05 МПа. Под нагрузкой смесь выдерживают $(3,0 \pm 0,1)$ мин, после чего груз снимают, форму поднимают и снимают с образца. Затем снимают с образца верхний вкладыш, а образец осторожно двумя руками снимают со стержня и переносят к месту хранения, где выдерживают при температуре воздуха (20 ± 5) °С не менее 4 ч.

Если образец после уплотнения сразу рассыпается, то следующий образец после снятия нагрузки выдерживают в форме не менее 4 ч при температуре (20 ± 5) °С. Образец должен иметь высоту (60 ± 1) мм. Корректировку количества смеси, необходимой для обеспечения требуемой высоты образца, выполняют по формуле (1).

Приготовление полимерасфальтобетонной смеси и формование образцов-цилиндров из нее производят аналогично условиям приготовления смеси и образцов из горячей асфальтобетонной смеси.

Порядок хранения асфальтобетонных образцов

Образцы, изготовленные из смесей с вязкими и жидкими органическими вяжущими, с активными добавками (ПАВ) и без них, хранят на воздухе в комнатных условиях в течение 0,5–2 суток. Образцы из холодной асфальтобетонной смеси испытывают в прогретом и не прогретом состояниях. В не прогретом состоянии испытывают часть образцов через 1–2 суток после изготовления.

Другую часть образцов нагревают в сушильном шкафу при температуре (90 ± 2) °С. Продолжительность прогрева – 2 ч при применении жидких битумов класса СГ и 6 ч – при применении жидких битумов классов МГ и МГО. Прогретые образцы испытывают на следующий день после прогрева.

Порядок испытаний асфальтобетонных образцов

Физические свойства асфальтобетона и полимерасфальтобетона определяют с целью прогнозирования таких эксплуатационных свойств, как водостойчивость, морозостойкость, погодостойкость. К физическим свойствам относятся: средняя плотность, истинная плотность минеральной части и смеси её с битумом, пористость минеральной части, остаточная пористость асфальтобетона и полимерасфальтобетона, водонасыщение.

Образцы взвешивают на лабораторных весах общего назначения 4-го класса точности по ГОСТ 24104 с допускаемой погрешностью взвешивания 0,1% массы. Массу образцов определяют в граммах с точностью до второго десятичного знака. Результаты испытаний рассчитывают с точностью до второго десятичного знака методом округления. Температура воздуха в помещении, в котором проводят испытания, должна быть (20 ± 5) °С.

Испытания асфальтобетонов проводят по следующим показателям:

– **Определение средней плотности уплотненного материала** 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 ρ_m , г/см^3 , вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{g\rho^6}{g_2 - g_1}, \quad (2)$$

где g – масса образца, взвешенного на воздухе, г; ρ^6 – плотность воды, равная 1 г/см^3 ; g_1 – масса образца, взвешенного в воде, г; g_2 – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и вторично взвешенного на воздухе, г.

За результат определения средней плотности принимают округленное до второго десятичного знака среднеарифметическое значение результатов определения средней плотности трех образцов. Если расхождение между наибольшим и наименьшим результатами параллельных определений превышает $0,03 \text{ г/см}^3$, то проводят повторные испытания и вычисляют среднеарифметическое из шести значений.

– **Определение средней плотности минеральной части (остова)** 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 и вяжущего.

Среднюю плотность минеральной части смеси ρ_m^m , г/см^3 , определяют по формуле

$$\rho_m^m = \frac{\rho_m}{1 + 0,01g_6}, \quad (3)$$

где ρ_m – средняя плотность образцов, определенная по формуле (2), г/см^3 ; g_6 – массовая доля вяжущего в смеси, % (сверх 100% минеральной части).

– **Определение истинной плотности минеральной части (остова)** 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, определяют по формуле

$$\rho^m = \frac{100}{\frac{q_1}{\rho_1} + \frac{q_2}{\rho_2} + \dots + \frac{q_n}{\rho_n}}, \quad (4)$$

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** 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 проводят на основании предварительно установленных истинных плотностей минеральной части смеси (4), вяжущего и их массовых соотношений по формуле

$$\rho = \frac{q_m + q_b}{\frac{q_m}{\rho^m} + \frac{q_b}{\rho^b}}, \quad (5)$$

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, рассчитанная по формуле (4), г/см³; ρ^b – истинная плотность вяжущего, г/см³.

Определение истинной плотности пикнометрическим методом. Порядок проведения испытания по данному методу описан в п. 10.2.2

ГОСТ 12801. Истинную плотность смеси ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(g - g_1)\rho^e}{g - g_1 + g_2 - g_3}, \quad (6)$$

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^e – плотность дистиллированной воды (принимается равной 1 г/см³).

За результат определения истинной плотности смеси принимается округленное до второго десятичного знака среднеарифметическое значение результатов двух определений. Расхождение между результатами двух параллельных определений не должно быть более 0,02 г/см³. В случае больших расхождений истинную плотность определяют вторично и принимают для расчета среднеарифметическое значение результатов четырех определений.

– **Определение пористости минеральной части (остова)** заключается в определении объема пор, имеющих в минеральной части (остове) асфальтобетона. Пористость минеральной части определяют расчетом на основании предварительно установленных значений средней и истинной плотностей минеральной части смеси.

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

$$V_{пор}^m = (1 - \frac{\rho_m^m}{\rho^m})100, \quad (7)$$

где ρ_m^m – средняя плотность минеральной части уплотненной смеси или асфальтобетона по формуле (3), г/см³; ρ^m – истинная плотность минеральной части смеси по формуле (4), г/см³.

– **Определение остаточной пористости** оценивается путем определения объема пор, имеющих в асфальтобетоне.

Остаточную пористость лабораторных образцов или образцов из покрытия $V_{пор}^o$, %, определяют расчетом на основании предварительно установленных значений средней и истинной плотностей с точностью до первого десятичного знака по формуле

$$V_{пор}^o = (1 - \frac{\rho_m}{\rho})100, \quad (8)$$

где ρ_m – средняя плотность уплотненной смеси по формуле (2), г/см³; ρ – истинная плотность смеси по выражениям (5), (6), г/см³.

– **Определение водонасыщения** заключается в определении количества воды, поглощенной образцом при заданном режиме насыщения. Водонасыщение определяют на образцах, приготовленных в лаборатории из смеси, или на образцах-вырубках (кернях) из покрытия.

Если испытание на водонасыщение проводят на образцах, отформованных из смеси, то испытание по данному показателю следует проводить на тех же образцах, которые использовались для определения средней плотности уплотненного материала по разделу 7 ГОСТ 12801. Для этого взвешенные на воздухе и в воде образцы помещают в сосуд с водой с температурой (20 ± 2) °С при уровне воды над образцами не менее 3 см. Сосуд устанавливают в вакуумную установку, где создают и поддерживают давление не более 2000 Па (5 мм рт. ст.) в течение 1 ч при испытании образцов из смесей с вязкими органическими вяжущими или 30 мин – при испытании образцов из смесей с жидкими и эмульгированными вяжущими. По истечении заданного времени давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде с температурой воды (20 ± 2) °С еще в течение 30 мин. После этого образцы извлекают из сосуда, обтирают мягкой тканью и взвешивают на воздухе (определяют значение g_5).

Водонасыщение образца W , %, вычисляют по формуле

$$W = \frac{g_3 - g}{g_2 - g_1} 100, \quad (9)$$

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

За результат определения водонасыщения принимают округленное до первого десятичного знака среднеарифметическое значение трех определений.

Механические свойства асфальтобетона (полимерасфальтобетона) характеризуют его способность обеспечивать долговечность дорожных покрытий под воздействием нагрузок от транспортных средств. При эксплуатации дорожное покрытие подвергается действию сжимающих, сдвигающих и растягивающих напряжений. В соот-

ветствии с этим определяют прочности асфальтобетона (полимерасфальтобетона) при сжатии, сдвиге и растяжении.

По ГОСТ 9128 [11] для полимерасфальтобетонных смесей и полимерасфальтобетонов на основе блоксополимеров типа СБС дополнительно рекомендуется определять показатели трещиностойкости, усталостной прочности и глубины вдавливания штампа.

– **Определение предела прочности при сжатии** заключается в определении нагрузки, необходимой для разрушения образца при заданных условиях. Для испытаний используют пресс с гидравлическим приводом с нагрузками от 50 до 100 кН по ГОСТ 28840. Силоизмеритель прессы должен обеспечить определение разрушающей нагрузки с точностью до 0,05 МПа для образцов, имеющих предел прочности при сжатии меньше 1,5 МПа, и с точностью 0,1 МПа для образцов, имеющих предел прочности при сжатии больше 1,5 МПа.

Перед испытанием образцы термостатируют при заданной температуре: (50 ± 2) , (20 ± 2) или (0 ± 2) °С. Температуру (0 ± 2) °С создают смешением воды со льдом. Образцы из горячих смесей выдерживают при заданной температуре в течение 1 ч в воде.

Образцы из смесей с жидкими и эмульгированными битумами термостатируют в воздушной среде в течение 2 ч. Для определения предела прочности при сжатии образцов в водонасыщенном состоянии используют образцы, испытанные в соответствии с разделом 13 ГОСТ 12801. Насыщенные водой образцы после взвешивания на воздухе и в воде снова помещают в воду с температурой (20 ± 2) °С, а перед испытанием вытирают мягкой тканью или фильтровальной бумагой.

Предел прочности при сжатии образцов определяют на прессах при скорости движения плиты прессы $(3,0 \pm 0,3)$ мм/мин. При использовании гидравлических прессов эту скорость перед проведением испытания следует установить при холостом ходе поршня. Образец, извлеченный из водяной или воздушной бани, устанавливают в центре нижней плиты прессы, предварительно положив под образец и на него плотную бумагу или картон (для уменьшения потерь тепла) (рис. 6).

Затем опускают верхнюю плиту и останавливают ее выше уровня поверхности образца на 1,5 – 2 мм. После этого включают электродвигатель и начинают нагружать образец.

Для повышения точности определения предела прочности при сжатии рекомендуется использовать шарнирное устройство

(см. рис. 6), представляющее собой две металлические пластины с расположенным между ними стальным шариком диаметром 6 – 8 мм.

Шарнирное устройство обеспечивает равномерное распределение нагрузки по всей площади торца образца в случае непараллельности оснований образцов. Максимальное показание силоизмерителя принимают за разрушающую нагрузку.

Предел прочности при сжатии образца $R_{сж}$ вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{F} \cdot 10^{-2}, \quad (10)$$

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

За результат определения принимают округленное до первого десятичного знака среднее арифметическое значение испытаний трех образцов.

– **Определение предела прочности на растяжение при раскалывании** заключается в определении нагрузки, необходимой для раскалывания образца по образующей. Для испытаний готовят цилиндрические образцы, которые термостатируют перед испытанием при заданной температуре (0 ± 2) °С в течение не менее 1 ч в воде. Заданную температуру создают смешением воды со льдом. Предел прочности на растяжение при расколе определяют для образцов при заданной постоянной скорости движения плиты пресса $(3,0 \pm 0,3)$ или (50 ± 1) мм/мин. Если испытание проводится на гидравлическом прессе, то требуемую скорость перед испытанием следует установить при холостом ходе поршня.

Образец извлекают из сосуда для термостатирования, устанавливают в центре нижней плиты пресса на боковую поверхность (рис. 7), затем опускают верхнюю плиту и останавливают её выше уровня боковой поверхности образца на 1,5–2 мм. После этого начинают на-

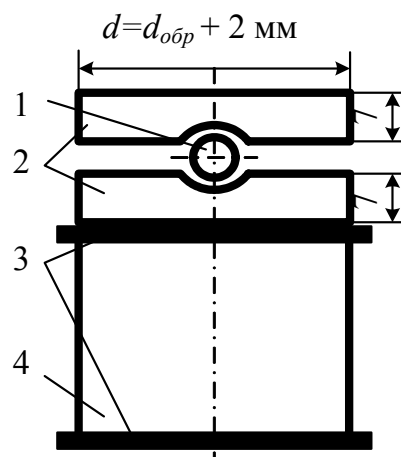


Рис. 6. Шарнирное устройство: 1 – шарик стальной диаметром 6 – 8 мм; 2 – металлические пластинки; 3 – прокладка из плотной бумаги; 4 – образец асфальтобетона

грузить образец. Максимальное показание силоизмерителя принимают за разрушающую нагрузку.

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

$$R_p = \frac{P}{hd} 10^{-2}, \quad (11)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; h – высота образца, см; d – диаметр образца, см; 10^{-2} – коэффициент пересчета в МПа.

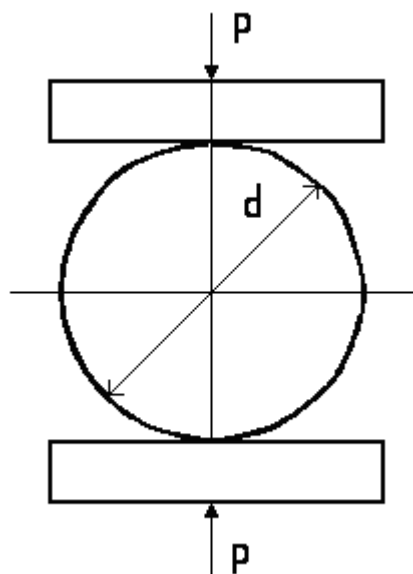


Рис. 7. Схема испытания образцов на растяжение при расколе

Результат отдельного испытания рассчитывают с точностью до второго десятичного знака. За результат определения принимают округленное до первого десятичного знака среднеарифметическое значение испытаний трех образцов.

– **Определение характеристик сдвигоустойчивости** заключается в определении максимальных нагрузок и соответствующих предельных деформаций стандартных цилиндрических образцов при двух напряженно-деформированных состояниях (рис. 8): при одноосном сжатии (а) и при сжатии специальным обжимным устройством по схеме Маршалла (б).

Для реализации этого метода используется специальное обжимное устройство в виде двух одинаковых частей толстостенной цилиндрической обоймы с внутренним радиусом, равным половине диаметра образца (рис. 9). Для испытания асфальтобетона на сдвигоустойчи-

вость готовят четное число цилиндрических образцов диаметром 71,4 мм (см. выше) в количестве не менее шести штук.

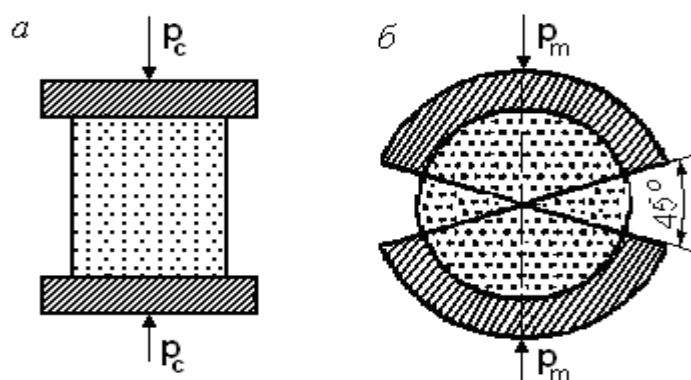


Рис. 8. Схема испытания образцов на сдвигоустойчивость

Перед испытанием образцы выдерживают в воде в течение 1 ч при заданной температуре $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$. Половина образцов предназначена для испытания по первой схеме нагружения (одноосное сжатие), другая половина – по второй схеме (по схеме Маршалла). Скорость деформирования образцов для обеих схем нагружения принимается одинаковой и равной $(50,0 \pm 1,0)$ мм/мин. Максимальные (разрушающие) нагрузки и соответствующие предельные деформации образцов также определяют для двух схем нагружения.

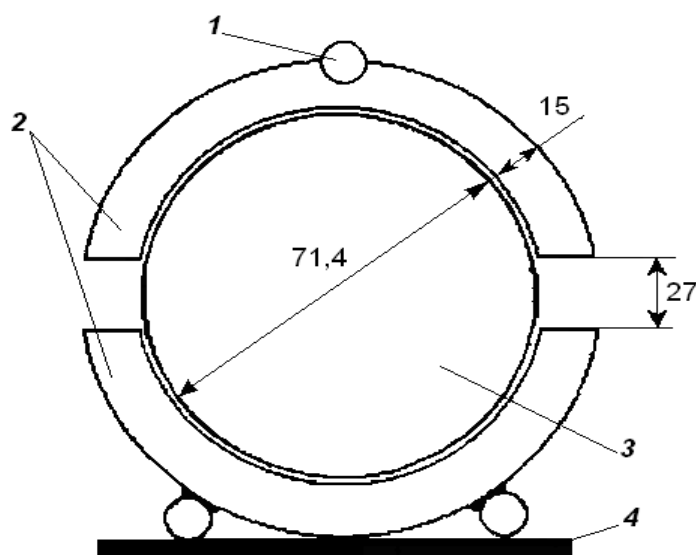


Рис. 9. Обжимное устройство: 1 – шарнир; 2 – цилиндрические обоймы; 3 – образец; 4 – нижняя плита пресса

Образец извлекают из термостатирующего устройства, устанавливают в центре нижней плиты пресса (при одноосном сжатии) или в нижнюю часть обжимного устройства (при сжатии по схеме Маршалла). Верхняя плита пресса должна находиться на расстоянии 5 – 10 мм от верха образца или от верхней части обжимного устройства. После этого начинают нагружать образец. 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. Допускается определять предельную деформацию по произведению постоянной скорости деформирования на время нагружения образца.

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

$$A = \frac{Pl}{2}, \quad (12)$$

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

Среднюю работу деформирования образцов при одноосном сжатии и при сжатии по схеме Маршалла вычисляют с точностью до второго десятичного знака как среднеарифметическое значение результатов испытаний не менее трех образцов.

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

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{3(A_m - A_c)}{3A_m - 2A_c}, \quad (13)$$

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

Лабораторный показатель сцепления при сдвиге C_l , МПа, вычисляют по формуле

$$C_l = \frac{1}{6} (3 - 2\operatorname{tg}\varphi) R_{сж}, \quad (14)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при одноосном сжатии по формуле (10).

– **Определение водостойкости** определяется методом, сущность которого заключается в оценке степени падения прочности при сжатии образцов после воздействия на них воды в условиях вакуума.

Водостойкость $K_{\text{в}}$ вычисляется по формуле

$$K_{\text{в}} = \frac{R_{\text{сж}}^{\text{в}}}{R_{\text{сж}}^{20}}, \quad (15)$$

где $R_{\text{сж}}^{\text{в}}$ – предел прочности при сжатии при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ водонасыщенных в вакууме образцов, МПа; $R_{\text{сж}}^{20}$ – предел прочности при сжатии при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ образцов, не подвергавшихся водонасыщению, МПа.

– **Определение водостойкости при длительном водонасыщении** заключается в определении потери прочности при сжатии образцов после воздействия на них воды в течение 15 сут к первоначальной прочности параллельных образцов.

Образцы, приготовленные в лаборатории из смеси, насыщают водой в условиях вакуума аналогично испытанию на показатель «водонасыщение». Затем после насыщения образцов в вакуумной установке их помещают в другой сосуд с водой, в котором выдерживают в течение 15 сут при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. По истечении 15 сут образцы извлекают из воды, обтирают мягкой тканью и определяют предел прочности при сжатии. Перед испытанием образцы необходимо термостатировать в течение часа при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Водостойкость при длительном водонасыщении $K_{\text{вд}}$ вычисляется в безразмерных единицах по формуле

$$K_{\text{вд}} = \frac{R_{\text{сж}}^{\text{вд}}}{R_{\text{сж}}^{20}}, \quad (16)$$

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

– **Определение показателя трещиностойкости полимерасфальтобетона при отрицательных температурах** заключается в определении температуры, при которой образуется трещина на образце полимерасфальтобетона при изгибании его по шаблону при отрицательных температурах.

Прогиб образца, равный 0,62 мм, обеспечивает дугообразная металлическая пластина-шаблон с внутренним радиусом кривизны 500 мм. Размеры шаблона: длина 100 мм, ширина 50 мм, толщина 2 мм. Шаблон может быть изготовлен из металла любой марки (рис. 10).

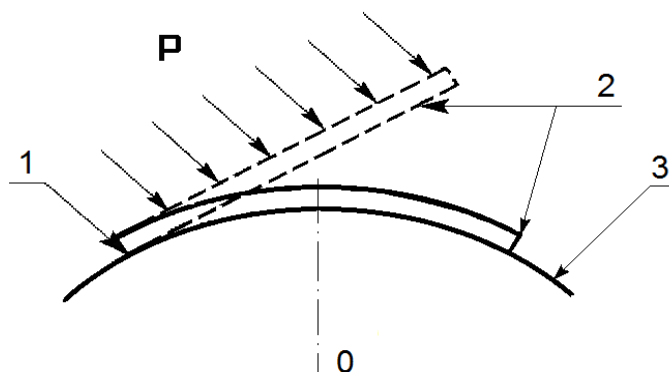


Рис. 10. Схема испытания полимерасфальтобетона на трещиностойкость: 1 – отметка на шаблоне; 2 – образец-плитка; 3 – металлический шаблон

Морозильная камера для термостатирования образцов должна обеспечивать создание и поддержание в течение 30 мин заданной температуры в пределах от +10 до –60 °С.

Для испытания отбирают пробу полимерасфальтобетонной смеси массой не менее 10 кг для смесей типов В, Г, Д; для высокоплотных смесей и смесей типа А и Б – 20 кг. Если смесь остыла, ее нагревают на песчаной бане или в термошкафу до температуры, указанной в табл. 19, но не выше 160 °С, затем размешивают шпателем до образования подвижной массы. Разогретую смесь охлаждают на воздухе, периодически перемешивая шпателем до комнатной температуры, в целях получения рыхлого состояния с содержанием фракции 1,25 – 0,63 мм массой не менее 300 г. Для облегчения рассеивания первоначально из смеси отделяют фракцию более 5,00 мм, затем отсеивают фракцию 1,25 – 0,63 мм.

Из фракции 1,25 – 0,63 мм готовят три образца в виде дисков диаметром 71,4 мм и высотой 4,0 мм. Температура смесей при изготовлении образцов должна соответствовать требованиям, указанным в табл. 19. Уплотнение образцов проводят под давлением 40 МПа. Готовые образцы выдерживают на воздухе не менее 15 ч.

Из каждого цилиндрического диска перед испытанием разогретым ножом по шаблону вырезают квадрат со сторонами 50 мм, затем

квадрат делят его на две равные части – плитки размерами 50 x 25 мм. Образцы-плитки до испытания выдерживают 1 ч при комнатной температуре.

Изготовленные образцы (шесть штук) и металлический шаблон помещают в морозильную камеру на металлическую подставку и выдерживают при температуре $(0 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 30 мин.

Через 30 мин из морозильной камеры извлекают шаблон, затем по очереди извлекают образцы и прикладывают их одним концом к отметке на шаблоне так, чтобы при испытании центр образца совпал с центром шаблона. Далее образец вручную изгибают в течение 2 с по шаблону, пока весь образец полностью не соприкоснется с ним (см. рис. 10). Время с момента извлечения образца из камеры до окончания испытания не должно превышать 5 – 6 с.

При отсутствии трещин или изломов образцы полимерасфальтобетона выпрямляют на плоской поверхности, добиваясь отсутствия просветов между образцом и поверхностью, и вместе с шаблоном вновь помещают в морозильную камеру, температуру в которой снижают на $5 ^\circ\text{C}$, выдерживают в течение 30 мин и повторно проводят испытание на пластине.

Испытание проводят, снижая каждый раз температуру в морозильной камере на $5 ^\circ\text{C}$, до появления трещин или изломов хотя бы у одного из шести испытуемых образцов.

За температуру трещиностойкости принимают значение температуры, при которой испытание выдержали все шесть образцов.

Два результата определения, полученные одним лаборантом на одном и том же шаблоне в одной лаборатории, признают достоверными (с 95%-ной доверительной вероятностью), если расхождение между первым и вторым результатами не превышает $5 ^\circ\text{C}$.

– **Определение показателя глубины вдавливания штампа в полимерасфальтобетон** заключается в определении максимального погружения металлического круглого штампа площадью $5,00 \text{ см}^2$ в образец полимерасфальтобетона при нагрузке на штамп $1,05 \text{ МПа}$.

Испытание проводят на прессе с механическим или гидравлическим приводом, способным обеспечить нагрузку и возможность нагружения не менее $1,05 \text{ МПа}$. Металлический штамп имеет диаметр $2,52 \text{ см}$, площадь $5,00 \text{ см}^2$, высоту $3,00 \text{ см}$.

Изготовленные образцы полимерасфальтобетона размером $d = h = 71,4 \text{ мм}$ охлаждают на воздухе в комнатных условиях в течение 3 ч. Перед испытанием образцы полимерасфальтобетона и штамп

термостатируют при температуре $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1 ч в воде. Уровень воды в сосуде для термостатирования должен быть на 2,0 – 3,0 см выше верхней части образца.

Сосуд для испытания объемом 1,5 л (площадь дна не менее $100,0\text{ см}^2$) устанавливают в центре нижней плиты пресса и помещают в него образец. В течение всего испытания температуру воды в сосуде поддерживают $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$. Уровень воды в сосуде испытания должен быть на 2,0 – 3,0 см выше верхней части образца.

На поверхность образца устанавливают металлический штамп, предварительно термостатируемый при температуре $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$, затем верхнюю плиту пресса опускают и останавливают ее выше уровня поверхности штампа на 1,5 – 2,0 мм. Для измерения деформации индикатор, прикрепленный к стойке, размещают таким образом, чтобы подвижная часть его ножки касалась верхней плиты пресса (рис. 11).

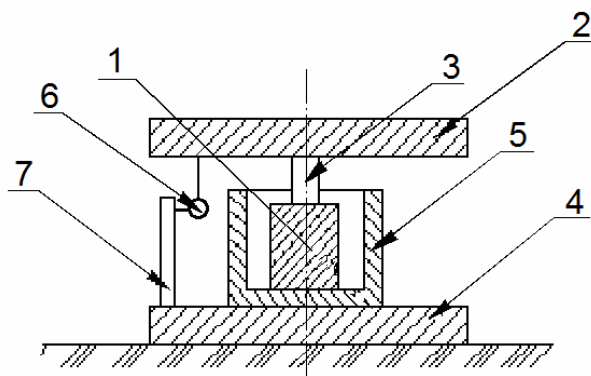


Рис. 11. Схема испытания на глубину вдавливания штампа: 1 – образец; 2, 4 – верхняя и нижняя плиты пресса; 3 – штамп; 5 – емкость для испытания; 6 – индикатор; 7 – стойка

После этого включают электродвигатель и начинают нагружать образец через штамп. Когда стрелка силоизмерителя пресса отклонится от нулевого значения и достигнет значения $(525 \pm 1)\text{ Н}$, что соответствует напряжению на образец 1,05 МПа, электродвигатель отключают, не снимая нагрузки, и переводят в ручной режим. Стрелку индикатора деформации устанавливают на ноль и начинают замер деформации.

Если стрелка силоизмерителя пресса отклонится от значения $(525 \pm 1)\text{ Н}$, усилие в ручном режиме доводят до требуемого значения.

Нагрузку на штамп (525 ± 1) Н выдерживают в течение (30 ± 2) мин, обеспечивая указанное напряженное состояние.

По истечении времени испытания фиксируют показания индикатора. Температуру образца (50 ± 2) °С поддерживают во время испытания добавлением воды, избыток которой отбирают резиновой грушей.

За результат определения принимают округленное до первого десятичного знака среднее арифметическое значение испытаний трех параллельных образцов. Расхождение между ними не должно превышать 10%.

– **Определение показателя усталостной прочности полимерасфальтобетона.** Сущность метода определения показателя усталостной прочности полимерасфальтобетона заключается в определении числа циклов нагружений образца до его разрушения при заданном напряжении.

Для испытания готовят шесть образцов полимерасфальтобетона. Для трех образцов определяют предел прочности при сжатии при температуре (50 ± 2) °С.

Показатель усталостной прочности образцов определяют на механическом или гидравлическом прессе с нагрузкой от 50 до 100 кН (5 – 10 тс) при скорости движения плиты ($3 \pm 0,5$) мм/мин. При использовании гидравлических прессов эту скорость перед проведением испытания следует установить при холостом ходе поршня.

Перед испытанием на усталостную прочность образцы термостатируют в воде в течение 1 ч при температуре (50 ± 2) °С. Уровень воды в сосуде термостатирования (водяной бане) должен быть на 2,0 – 3,0 см выше верхней части образца. Испытания всех трех образцов проводят с интервалом 3 – 5 мин. Для этого второй образец ставят термостатироваться через 3 – 5 мин после первого, а третий – через 3 – 5 мин после второго.

Образец, извлеченный из сосуда для термостатирования, устанавливают в центре нижней плиты пресса, затем опускают верхнюю плиту и останавливают ее выше уровня поверхности образца на 1,5 – 2,0 мм.

После этого включают электродвигатель пресса и задают нагрузку, равную 50% значения предела прочности на сжатие при 50 °С. Время нагружения составляет 1 мин.

Через 1 мин нагрузку снимают, а образец помещают в водяную баню с температурой (50 ± 2) °С. Через 5 мин образец опять ставят на

пресс и нагружают при той же нагрузке, и так далее до полного разрушения образца.

Число циклов, которое выдерживает образец до разрушения, представляет собой показатель усталостной прочности полимерасфальтобетона.

За результат определения принимают округленное до целого числа среднее арифметическое значение испытаний трех параллельных образцов. Расхождение между ними не должно превышать 10%.

– **Определение состава смеси** заключается в определении содержания вяжущего и зернового состава минеральной части смеси и может быть проведено одним из трех методов:

- экстрагированием вяжущего;
- выжиганием вяжущего;
- отмывкой вяжущего растворителем.

Экстрагирование вяжущего предусматривает определение содержания вяжущего путем экстрагирования его из смеси в специальных приборах-экстракторах с помощью растворителей. Сущность данного метода состоит в том, что при кипении растворителя пары, конденсирующиеся в холодильнике экстрактора, непрерывно стекая на асфальтобетонную смесь, растворяют его. Определение состава смеси по данному методу производят по п. 23.1 и п. 23.2 ГОСТ 12801.

Метод выжигания вяжущего основан на воздействии на асфальтобетонную смесь температуры $(500 \pm 10)^\circ\text{C}$ в течение 1,5 ч. После охлаждения пробу взвешивают и вновь прокаливают при $(500 \pm 10)^\circ\text{C}$ в течение одного-двух 30-минутных периодов до постоянной массы. Определение состава смеси по данному методу производят по п. 23.3 ГОСТ 12801.

Метод отмывки вяжущего растворителем состоит в воздействии на асфальтобетонную смесь растворителя при совместном интенсивном встряхивании этих компонентов в специальном металлическом стакане, герметически закрываемом крышкой. Данный метод применяют при контроле качества приготовления только асфальтобетонных смесей. Метод не допускается применять при определении содержания разжиженных битумов. Определение состава смеси по данному методу производят по п. 23.4 ГОСТ 12801.

– **Определение сцепления вяжущего с минеральной частью смеси** оценивают визуально по величине поверхности минерального материала, сохранившей пленку вяжущего после кипячения в водном растворе поваренной соли. Порядок проведения испытания указан в

ГОСТ 12801. Смесь считают выдержавшей испытание, если после кипячения не менее 3/4 поверхности остается покрытой пленкой вязущего.

– **Определение слеживаемости холодных смесей** заключается в оценке способности холодной смеси не слеживаться при хранении в штабеле. Испытания проводят на приборе для определения слеживаемости по п. 25.1 ГОСТ 12801 (рис. 12).

Для испытания готовят три образца (порядок изготовления образцов см. выше), которые перед испытанием выдерживают в воздушной среде при температуре (20 ± 2) °С не менее 4 ч. При проведении испытания образец устанавливают на основание, а острие конуса, осторожно направляя рукой, вводят в отверстие образца. Груз поднимают до упорного кольца и опускают его. Удары груза по конусу повторяют до полного разрушения образца или до тех пор, пока острие конуса коснется подставки. При испытании необходимо следить за тем, чтобы при поднятии груза острие конуса не выходило вверх из отверстия в образце.

За условный показатель слеживаемости холодной смеси принимают количество ударов, необходимое для полного разрушения образца конусом. Показатель слеживаемости вычисляют как среднеарифметическое результатов испытания трех образцов. Расхождение между наибольшим и наименьшим результатами испытаний не должно быть более четырех ударов.

– **Определение коэффициента уплотнения смесей в конструктивных слоях дорожных одежд** заключается в определении отношения средней плотности вырубок (кернов) к средней плотности переформованных из них образцов (коэффициента уплотнения).

Коэффициент уплотнения K_y вычисляют с точностью до второго десятичного знака методом округления по формуле

$$K_y = \frac{\rho_m}{\rho_m^n}, \quad (17)$$

где ρ_m – средняя плотность образца из конструктивного слоя, г/см³; ρ_m^n – средняя плотность переформованного образца, г/см³.

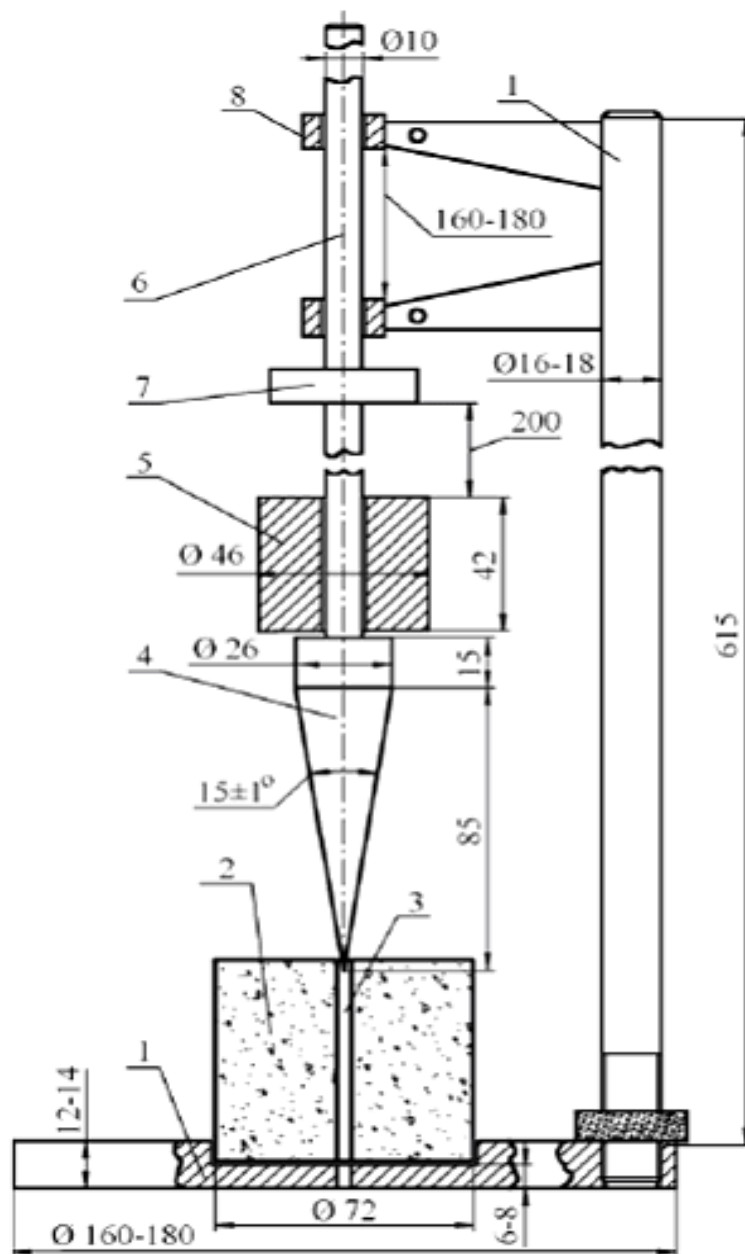


Рис. 12. Прибор для определения слеживаемости холодного асфальтобетона: 1 – основание с подставкой; 2 – образец; 3 – отверстие в образце; 4 – конусный наконечник; 5 – цилиндрический груз; 6 – штанги; 7 – упорное кольцо; 8 – направляющая втулка

– **Определение однородности смеси** оценивают методом, сущность которого заключается в статистической обработке значений показателей свойств смеси в выборке из лабораторного журнала и оценке ее однородности по коэффициенту вариации показателя предела прочности при сжатии при температуре 50 °С для горячих смесей и показателя водонасыщения для холодных смесей.

Объем выборки должен составлять не менее 20 определений и назначаться по числу испытанных проб смеси за период между периодическими испытаниями.

Коэффициент вариации C_v является мерой отклонения опытных данных от среднего выборочного значения, выраженной в долях единицы или в процентах и вычисляется по формуле

$$C_v = \frac{S_n}{X}, \quad (18)$$

где S_n – среднеквадратическое отклонение показателя свойств смеси; X – среднее значение показателя свойств смеси в объеме выборки.

Среднее значение показателя вычисляют как среднеарифметическое из частных значений, образующих выборку:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (19)$$

где x_i – частное значение показателя свойств в i -й пробе; n – количество испытанных проб (объем выборки).

Среднеквадратическое отклонение вычисляют по формуле

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - x_i)^2}{n - 1}}. \quad (20)$$

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение, что такое асфальтобетон. Назовите области его применения.
2. Дайте определение, что такое полимерасфальтобетон. Назовите области его применения.
3. Назовите компоненты, входящие в состав асфальтобетона и полимерасфальтобетона. Какие требования предъявляются к их качеству?

4. Какие функции выполняют в составе асфальтобетона (полимерасфальтобетона) щебень, песок, минеральный порошок и битум (полимерно-битумное вяжущее)?

5. Назовите компоненты, входящие в состав полимерасфальтобетона. Каковы требования ГОСТ 9128–2013 к температуре хрупкости и температуре размягчения полимерно-битумного вяжущего?

6. Какова технология приготовления горячей асфальтобетонной смеси и полимерасфальтобетонной смеси в лаборатории и изготовления образцов?

7. Назовите показатели физико-механических свойств асфальтобетона и полимерасфальтобетона. Какие свойства полимерасфальтобетона определяют его более высокую долговечность при эксплуатации в дорожном покрытии по сравнению с асфальтобетоном?

8. Каковы методика определения средней плотности асфальтобетона (полимерасфальтобетона), используемые приборы и приспособления?

9. Назовите показатели физических свойств асфальтобетона (полимерасфальтобетона). Как определяют пористость минеральной части асфальтобетона (полимерасфальтобетона)? Приведите расчетные формулы.

10. Назовите показатели физических свойств асфальтобетона (полимерасфальтобетона). Как определяют остаточную пористость асфальтобетона (полимерасфальтобетона)? Приведите расчетные формулы.

11. Каковы методика определения показателя водонасыщения асфальтобетона (полимерасфальтобетона), используемые приборы и оборудование? Какое свойство асфальтобетона (полимерасфальтобетона) характеризует этот показатель?

12. Каковы методика определения пределов прочности при сжатии асфальтобетона (полимерасфальтобетона) при разных температурах, используемые приборы и оборудование?

13. Каковы методика определения предела прочности на растяжение при расколе асфальтобетона (полимерасфальтобетона), используемые приборы и оборудование? Какое свойство асфальтобетона (полимерасфальтобетона) характеризует этот показатель?

14. Каковы методика определения характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетона (полимерасфальтобетона), используемые приборы и оборудование?

15. Каковы методика определения коэффициента водостойкости асфальтобетона (полимерасфальтобетона), используемые приборы и оборудование?

16. Каковы методика определения коэффициента длительной водостойкости асфальтобетона (полимерасфальтобетона), используемые приборы и оборудование?

17. Почему прочности асфальтобетона (полимерасфальтобетона) определяют при разных температурах?

18. Как зависит прочность асфальтобетона и полимерасфальтобетона от температуры? Приведите графические зависимости.

19. Каковы методика определения показателя трещиностойкости полимерасфальтобетона при отрицательных температурах, используемые приборы и оборудование?

20. Каковы методика определения глубины вдавливания штампа в полимерасфальтобетон, используемые приборы и оборудование? Какое свойство полимерасфальтобетона отражает этот показатель?

21. Каковы методика определения показателя усталостной прочности полимерасфальтобетона, используемые приборы и оборудование?

22. Как отбираются пробы асфальтобетонной смеси?

23. Как отбираются пробы асфальтобетона из конструктивных слоев дорожной одежды?

24. Как зависит диаметр асфальтобетонных образцов от наибольшего размера щебня или гравия?

25. Какой режим уплотнения асфальтобетонных образцов из горячих смесей, содержащих до 50% по массе щебня или гравия?

26. Какой режим уплотнения асфальтобетонных образцов из горячих смесей, содержащих более 50% по массе щебня?

5. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

5.1. Материалы для приготовления асфальтобетонных смесей

Щебень и гравий

Для асфальтобетонных смесей применяют щебень, полученный дроблением массивных горных пород, валунного камня, крупного гравия и нераспадающихся металлургических шлаков. Допускается

использование природного гравия без его дробления. Гравийно-песчаные смеси по зерновому составу должны отвечать требованиям ГОСТ 23735 [16], а гравий и песок, входящие в состав этих смесей, – ГОСТ 8267 и ГОСТ 8736 соответственно [17, 18]. Применяют щебень и гравий фракций от 5 до 10 мм, свыше 10 до 20 (15) мм, свыше 20 (15) до 40 мм, а также смеси указанных фракций.

Оценку качества и пригодности щебня (гравия) для асфальтобетона заданного вида, типа и марки дают по данным их испытаний на основании прил. 1 с учетом категории дороги и конструкции дорожной одежды. Средневзвешенное содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в щебне и гравии должно быть, % по массе, не более:

15 – для смесей типов А и высокоплотных;

25 – для смесей типов Б, Б_х;

35 – для смесей типов В, В_х.

Песок

Природный песок и песок из отсеков дробления горных пород должны соответствовать требованиям ГОСТ 8736 и ГОСТ 31424 [19], при этом марка по прочности песка из отсеков дробления горных пород и содержание глинистых частиц, определяемых методом набухания, для смесей и асфальтобетонов конкретных марок и типов должны соответствовать указанным в табл. 22. Общее содержание зерен мельче 0,16 мм (в том числе пылевидных и глинистых частиц) в песке из отсеков дробления не нормируется.

Минеральный порошок

Сырьем для производства минерального порошка служат известняк, доломит, доломитизированный известняк.

Минеральный порошок в зависимости от показателей свойств, а также применяемых исходных материалов подразделяют на следующие марки:

– МП-1 – минеральный порошок активированный из карбонатных горных пород;

– МП-2 – минеральный порошок неактивированный из карбонатных горных пород;

– МП-3 – минеральный порошок неактивированный из некарбонатных горных пород, твердых и порошковых отходов промышленного производства.

Физико-механические показатели песка из отсеков дробления

Показатель	Значение для смесей и асфальтобетонов марки							
	I			II			III	
	горячих и холодных типа		пористых и высоко- пористых	горячих и холодных типа		пористых и высоко- пористых	горячих типа	
	А, Б, Бх, Вх вы- сокоплотных	Г, Гх		А, Б, Бх, В, Вх	Г, Д, Дх		Б, В	Г, Д
Марка по прочности песка из отсеков дробления горных пород и гравия, не менее	800	1000	600	600	800	400	400	600
Содержание глинис- тых частиц, опреде- ляемое методом на- бухания, % по массе, не более	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0

Примечание. Для смесей типа Г марки I необходимо использовать обогащенный и фракционированный песок из отсеков дробления плотных горных пород по ГОСТ 31424.

Требования к минеральным порошкам по ГОСТ 32761 приведены в табл. 23 [20]. Допускается применять в качестве минеральных порошков для пористого и высокопористого асфальтобетонов, а также для плотного асфальтобетона II и III марок техногенные отходы промышленного производства (измельченные основные металлургические шлаки, золы-уноса, золошлаковые смеси, пыль-уноса цементных заводов и пр.), показатели свойств которых соответствуют указанным в табл. 24.

Таблица 23

Показатели и характеристики минерального порошка

Показатель	Норма для марки минерального порошка		
	МП-1	МП-2	МП-3
1	2	3	4
Основные требования к минеральному порошку			
Зерновой состав, % по массе, не менее:			
– мельче 2 мм	100	100	100
– мельче 0,125 мм	85	85	75
– мельче 0,063 мм	70	70	60
Пористость, %, не более	30	35	40
Битумоемкость, г, не более	50	65	80

Окончание табл. 23

1	2	3	4
Требования, дополнительно применяемые к минеральному порошку			
Влажность, % по массе, не более	0,5	1,0	2,5
Водостойкость образцов из смеси минерального порошка с битумом, не менее	Не нормируется	Не нормируется	0,7
Набухание образцов из смеси минерального порошка с битумом, %, не более	1,8	2,5	3,0
Содержание водорастворимых соединений, % по массе, не более	Не нормируется	Не нормируется	6
Содержание полутонких окислов, % по массе, не более	7	1,7	1,7

В минеральном порошке, получаемом из горной породы, прочность на сжатие которой выше 40 МПа, содержание зерен мельче 0,063 мм допускается на 5% меньше указанного в табл. 23. Активированные минеральные порошки должны быть гидрофобными, а также однородными по цвету и составу. Минеральные порошки могут быть активированы при помоле добавками ПАВ или гидрофобизированы при помоле вязкими битумами.

Таблица 24

Физико-механические показатели техногенных отходов промышленного производства, применяемых в качестве минерального порошка

Показатель	Значение показателя для		
	молотых основных металлургических шлаков	зол-уноса и измельченных золошлаковых смесей	пыли-уноса цементных заводов
Зерновой состав, % по массе, не менее:			
мельче 1,25 мм	95	95	95
мельче 0,315 мм	80	80	80
мельче 0,071 мм	60	60	60
Пористость, %, не более	40	45	45
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом, не менее	0,7	0,6	0,8
Показатель битумоемкости, г, не более	100	100	100
Потери при прокаливании, % по массе, не более	Не нормир.	20	Не нормир.
Содержание активных CaO+MgO, % по массе, не более	3	3	3
Содержание водорастворимых соединений, % по массе, не более	6	6	6

Битум

Для приготовления смесей применяют битумы нефтяные дорожные вязкие по ГОСТ 22245 [12] (прил. 2) и жидкие по ГОСТ 11955 [14], а также полимерно-битумные вяжущие и модифицированные битумы по технической документации, согласованной в установленном порядке [21].

На битумы нефтяные дорожные вязкие разработан также ГОСТ 33133 [13], по которому битумы разделены на марки: БНД 130/200, БНД 100/130, БНД 70/100, БНД 50/70, БНД 35/50, БНД 20/25.

Технические требования к битумам по ГОСТ 33133 и область их применения приведены в прил. 2. Качество битумов оценивается основными и дополнительными показателями. Основными показателями являются: глубина проникания иглы при температуре 25 °С, температура размягчения, температура хрупкости, растяжимость при температуре 0 °С, температура вспышки, изменение массы и температуры размягчения после прогрева.

К дополнительным показателям относятся: растяжимость при температуре 25 °С, глубина проникания иглы при температуре 0 °С, температура хрупкости после старения, растворимость, содержание твердых парафинов. Кроме того, в дополнительные показатели для набора статистических данных включены: усилие при растяжении при температурах 0 и 25 °С, динамическая вязкость при 60 °С, изменение динамической вязкости после сдвигового воздействия и изменение этих показателей после старения.

Марку вязкого битума, а также класс и марку жидкого битума выбирают в зависимости от вида асфальтобетона, климатических условий района строительства и категории дороги (табл. 25).

Для холодных смесей марки I следует применять жидкие битумы класса СГ. Допускается применение битумов классов МГ и МГО при условии использования активированных минеральных порошков или предварительной обработки минеральных материалов смесью битума с поверхностно-активными веществами.

Для холодных смесей марки II следует применять жидкие битумы классов СГ, МГ и МГО. Рекомендуемое количество битума для асфальтобетонных смесей различных видов, марок и остаточной пористости приведено в табл. 26.

Таблица 25

**Рекомендуемая область применения асфальтобетонов при устройстве
верхних слоев автомобильных дорог и городских улиц**

Дорожно-климатическая зона	Вид асфальтобетона	Категория дороги					
		I, II		III		IV	
		марка смеси	марка битума	марка смеси	марка битума	марка смеси	марка битума
1	2	3	4	5	6	7	8
I	Плотный и высокоплотный	I	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300	II	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200	III	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200
II, III	Плотный и высокоплотный	I	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БН 90/130	II	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 БН 60/90 БН 90/130 БН 130/200 БН 200/300	III	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 БН 60/90 БН 90/130 БН 130/200 БН 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200
II, III	Из холодных смесей	—	—	I	СГ 70/130 СГ 130/200	II	СГ 70/130 СГ 130/200 МГ 70/130 МГ 130/200 МГО 70/130 МГО 130/200
IV, V	Плотный	I	БНД 40/60 БНД 60/90 БН 40/60 БН 60/90	II	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН 90/130	III	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН 90/130

Окончание табл. 25

1	2	3	4	5	6	7	8
IV, V	Из холод- ных смесей	—	—	I	СГ 70/130 СГ 130/200	II	СГ 70/130 СГ 130/200 МГ 70/130 МГ 130/200 МГО 70/130 МГО 130/200

Примечания: 1. Для городских скоростных и магистральных дорог следует применять асфальтобетоны из смесей видов и марок, рекомендуемых для дорог I и II категорий; для дорог промышленно-складских районов—рекомендуемые для дорог III категории; для остальных улиц и дорог—рекомендуемые для дорог IV категории.

2. Битумы марок БН рекомендуется применять в мягких климатических условиях, характеризующихся средними температурами самого холодного месяца года выше $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 26

Содержание битума в смесях

Вид смесей	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 – 4,0
— высокопористые песчаные	4,0 – 6,0
2. Холодные типов:	
Б _х	3,5 – 5,5
В _х	4,0 – 6,0
Г _х и Д _х	4,5 – 6,5

5.2. Материалы для приготовления полимерасфальтобетонных смесей

Щебень

Щебень из плотных горных пород и щебень из металлургических шлаков, входящий в состав смесей, по зерновому составу, прочности, содержанию пылевидных и глинистых частиц, содержанию глины в комках должны соответствовать требованиям ГОСТ 8267 [17]

и ГОСТ 3344 [22]. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в щебне должно быть, не более, по массе:

- для смесей типов А и высокоплотных – 10%;
- для смесей типов Б – 25%;
- для смесей типов В – 35%.

Для приготовления смесей и полимерасфальтобетонов применяют щебень фракций от 5 до 10 мм, св. 10 до 20 (15) мм, а также смеси указанных фракций. Прочность и морозостойкость щебня для смесей и полимерасфальтобетонов конкретных марок и типов должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 27.

Таблица 27

Показатели прочности и морозостойкости щебня

Показатель	Значение показателя для смесей марок		
	I		II
	видов, типов		
	высокоплотный, плотный тип А	плотный тип Б	плотный тип В
Марка по дробимости, не ниже:			
- щебня из изверженных и метаморфических горных пород		1200	1000
- щебня из осадочных горных пород	1200	1200	1000
- щебня из металлургического шлака	-	1200	1200
Марка по истираемости, не ниже:			
- щебня из изверженных и метаморфических горных пород	И1		
- щебня из осадочных горных пород	И1		
Марка по морозостойкости для всех видов щебня и гравия:			
- для дорожно-климатических зон I, II, III	F50		
- для дорожно-климатических зон IV, V	F50		

Песок

Природный песок и песок из отсеков дробления горных пород должен соответствовать требованиям ГОСТ 8736. Марка песка из отсеков дробления по прочности должна быть не ниже 1000, содержание глинистых частиц, определяемых методом набухания, – не более 0,5%. Для смесей типа Г необходимо использовать пески из отсеков

дробления изверженных горных пород по ГОСТ 8736 с содержанием зерен менее 0,16 мм не более 5,0% по массе. Для смесей типа Г марки I необходимо использовать обогащенный и фракционированный песок из отсеков дробления плотных горных пород по ГОСТ 31424.

Минеральный порошок

Минеральный порошок, входящий в состав смесей и полимерасфальтобетонов, должен отвечать требованиям ГОСТ 32761 [20].

Полимерно-битумное вяжущее

Для приготовления полимерасфальтобетонных смесей применяют ПБВ на основе блоксополимеров типа СБС, отвечающие требованиям ГОСТ Р 52056. Рекомендуемое количество полимерно-битумного вяжущего для полимерасфальтобетонных смесей различных видов, марок и остаточной пористости приведено в табл. 28, 29.

Таблица 28

**Содержание полимерно-битумных вяжущих (ПБВ)
в полимерасфальтобетонных смесях при использовании вяжущих
марок ПБВ 300, ПБВ 200**

Вид смесей	Содержание ПБВ, % по массе
Высокоплотные	4,0 – 6,5
Плотные, типы:	
А	4,5 – 7,0
Б	5,0 – 7,0
В	6,0 – 7,5
Г и Д	6,0 – 10,0

Таблица 29

**Содержание полимерно-битумных вяжущих (ПБВ)
в полимерасфальтобетонных смесях при использовании
вяжущих марок ПБВ 130, ПБВ 90, ПБВ 60, ПБВ 40**

Вид смесей	Содержание ПБВ, % по массе
Высокоплотные	4,0 – 6,0
Плотные, типы:	
А	4,5 – 6,0
Б	5,0 – 6,5
В	6,0 – 7,0
Г и Д	6,0 – 9,0

Контрольные вопросы

1. Как нормируется содержание зерен пластинчатой (лещадной) формы в щебне и гравии для асфальтобетонов типов А, Б и В?
2. На какие марки делятся минеральные порошки?
3. Какие порошкообразные отходы промышленности используются в качестве минерального порошка?
4. Чем активированный минеральный порошок отличается от неактивированного?
5. Чем битумы марок БН отличаются от битумов марок БНД?
6. С какой целью вводят полимерные добавки в битум?

6. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Методы испытания щебня (гравия), песка и битума, применяемых для приготовления асфальтобетонных смесей, должны соответствовать нормативным документам, представленным в табл. 30.

Таблица 30

Нормативные документы на методы испытания компонентов асфальтобетонной смеси

Наименование испытаний	Нормативно-техническая документация
1	2
ЩЕБЕНЬ	<u>ГОСТ 8269.0-97</u>
Зерновой состав	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3
Содержание пылевидных и глинистых частиц	ГОСТ 8269.0-97 п.4.5
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и иглообразной форм	ГОСТ 8269.0-97 п.4.7
Дробимость	ГОСТ 8269.0-97 п.4.8
Насыпная плотность	ГОСТ 8269.0-97 п.4.17
Истинная плотность	ГОСТ 8269.0-97 п.4.15.2.1
Влажность	ГОСТ 8269.0-97 п.4.19
Определение содержания глины в комках	ГОСТ 8269.0-97 п.4.6
Определение средней плотности и пористости горной породы и зёрен щебня (гравия)	ГОСТ 8269.0-97 п.4.16
Определение пустотности	ГОСТ 8269.0-97 п.4.17.3
Определение водопоглощения горной породы и щебня (гравия)	ГОСТ 8269.0-97 п.4.18
Истираемость в полочном барабане	ГОСТ 8269.0-97 п.4.10

1	2
ПЕСОК Зерновой состав Модуль крупности Содержание пылевидных и глинистых частиц Истинная плотность Насыпная плотность Влажность Определение содержания глины в комках Определение пустотности Испытания отсеков дробления изверженных горных пород для строительных работ	<u>ГОСТ 8735-88</u> ГОСТ 8735-88 п.3 ГОСТ 8735-88 п.3 ГОСТ 8735-88 п.5.1 ГОСТ 8735-88 п.8.2 ГОСТ 8735-88 п.9.1 ГОСТ 8735-88 п.10 ГОСТ 8735-88 п. 4 ГОСТ 8735-88 п. 9.2 ГОСТ 26193-84
МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК Гидрофобность Содержание водорастворимых соединений Активность Набухание образцов из смеси порошка с битумом Содержание активирующих веществ Зерновой состав Влажность Истинная плотность Средняя плотность и пористость Водостойкость асфальтового вяжущего (смесь минерального порошка с битумом) Показатель битумоемкости Содержание полутонких окислов	<u>ГОСТ 32761-2014</u> ГОСТ 32704-2014 ГОСТ 32705-2014 ГОСТ 32706-2014 ГОСТ 32707-2014 ГОСТ 32718-2014 ГОСТ 32719-2014 ГОСТ 32762-2014 ГОСТ 32763-2014 ГОСТ 32764-2014 ГОСТ 32765-2014 ГОСТ 32766-2014 ГОСТ 32767-2014
БИТУМ Глубина проникания иглы Температура размягчения по КиШ Растяжимость Температура хрупкости Температура вспышки Масса после прогрева Сцепление битума с мрамором или песком Битумы нефтяные дорожные жидкие	<u>ГОСТ 22245-90</u> ГОСТ 11501-78 ГОСТ 11506-78 ГОСТ 11505-75 ГОСТ 11507-78 ГОСТ 4333- 87 ГОСТ 18180-72 ГОСТ 11508-74 метод «А» ГОСТ 11955-82

6.1. Определение свойств полимерно-битумных вяжущих

Качество ПБВ устанавливают по стандартным методам, принятым для оценки свойств вязких дорожных битумов, а также определяют однородность и эластичность по ГОСТ Р 52056.

Перед испытанием ПБВ оценивают его однородность. Если проба однородна, проводят дальнейшие испытания. Требования к показателям свойств ПБВ приведены в прил. 3.

Определение однородности ПБВ. 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.

Определение эластичности ПБВ. Сущность метода заключается в определении доли эластической (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±0,5) °С.

Показатель эластичности (Э) в процентах вычисляют по формуле

$$\text{Э} = \frac{(D+l)-L}{D} 100. \quad (21)$$

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.

6.2. Порядок испытаний минеральных порошков

Пробы порошка перед проведением испытаний, исключая пробу, предназначенную для определения влажности, высушивают в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Активированные порошки перед испытаниями не сушат. Взвешивание производят на лабораторных весах общего назначения 4-го класса точности по ГОСТ 24104 с допускаемой погрешностью взвешивания 0,1% массы. Массу определяют в граммах с точностью до второго десятичного знака после запятой.

Результаты испытаний рассчитывают с точностью до второго десятичного знака методом округления. Температура воздуха в помещении, в котором проводят испытания, должна быть $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

– **Определение зернового состава** заключается в просеивании порошка через стандартный набор сит. При испытании активированных порошков в питьевую воду, используемую для промывки, вводят смачиватель. В качестве смачивателя применяют порошкообразные, пастообразные и жидкие технические или бытовые моющие средства. Смачиватель вводят в воду в следующем количестве на 1 л воды: жидкий – 15 г, пастообразный (в виде раствора в воде в соотношении 1:1) – 10 г, порошкообразный – 3 г.

Из подготовленной пробы минерального порошка берут навеску около 50 г, помещают в фарфоровую чашку, заливают небольшим количеством воды (порошок должен быть покрыт водой) и растирают в течение 2–3 мин пестиком с резиновым наконечником, после чего воду со взвешенными в ней частицами порошка сливают через сито с сеткой № 0071, установленное над сосудом. Эту операцию продолжают до тех пор, пока вода в чашке не станет прозрачной. После промывки частицы порошка крупнее 0,071 мм, оставшиеся на сетке, смывают с помощью резиновой груши в фарфоровую чашку. Оставшуюся в чашке воду осторожно сливают, чашку помещают в сушильный шкаф, высушивают остаток пробы порошка при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

Не допускается промывание и растирание порошка непосредственно на сите. Высушенный остаток пробы последовательно просеи-

вают через сита с сетками № 1,25; 0315 и 0071 вручную или на приборе для механического просеивания. Просеивание считают законченным, если после встряхивания сита в течение 30 с количество частиц, прошедших через сито № 1,25, не превышает 0,05 г, а прошедших через сита № 0315 и 0071, – 0,02 г. Остаток на каждом сите взвешивают.

Для текущего (оперативного) контроля зернового состава допускается просеивать порошок без предварительной промывки при условии использования прибора для механического просеивания. Из подготовленной пробы порошка берут навеску около 50 г и помещают в набор сит с поддоном и крышкой, установленные в прибор для механического просеивания. Просеивание в приборе продолжают в течение 30 – 40 мин, после чего прибор останавливают и производят контрольное просеивание вручную. Просеивание считают законченным, если после встряхивания сита в течение 30 с количество частиц, прошедших через сито № 1,25, не превышает 0,05 г, а прошедших через сита № 0315 и 0071, – 0,02 г.

По результатам просеивания вычисляют:

– частные остатки на каждом сите a_i , %, по формуле

$$a_i = m_i / m \cdot 100, \quad (22)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г; m – масса навески, г;

– содержание частиц мельче 2,0 ($M_{2,0}$), 0,125 ($M_{0,125}$) и 0,063 ($M_{0,063}$) мм – по формулам

$$M_{2,0} = 100 - a_{2,0}; \quad M_{0,125} = M_{2,0} - a_{0,125};$$

$$M_{0,063} = M_{0,125} - a_{0,063}. \quad (23)$$

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до второго десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2%.

В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения. Зерновой состав вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

– **Определение истинной плотности** заключается в определении плотности порошка без учета имеющихся в нем пор.

Определение истинной плотности неактивированного минерального порошка из горных пород

Из подготовленной пробы порошка берут две навески (для двух параллельных определений) около 10 г каждая, если истинную плотность определяют в колбах вместимостью 100 мл, или около 50 г, если используют колбы вместимостью 250 мл. Каждую навеску порошка всыпают в чистую, высушенную и взвешенную колбу, после чего колбу с порошком вновь взвешивают и на 1/3 заполняют дистиллированной водой.

Содержимое колбы взбалтывают и кипятят на песчаной бане в течение 1 ч, а затем охлаждают до комнатной температуры. После этого колбу заполняют дистиллированной водой до черты на шейке колбы и взвешивают. Затем колбу освобождают от содержимого, промывают, наполняют до черты на шейке дистиллированной водой комнатной температуры и вновь взвешивают.

Истинную плотность порошка ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(m - m_1)\rho^6}{m - m_1 + m_2 - m_3}, \quad (24)$$

где m – масса колбы с порошком, г; m_1 – масса пустой колбы, г; m_2 – масса колбы с дистиллированной водой, г; m_3 – масса колбы с порошком и водой, г; ρ^6 – плотность дистиллированной воды, равная 1 г/см³.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до второго десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,02 г/см³. В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения. Истинную плотность вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

Определение истинной плотности активированного минерального порошка

Определяют истинную плотность раствора смачивателя пикнометрическим методом по ГОСТ 3900.

Испытания активированного порошка проводят по методике определения истинной плотности неактивированного минерального порошка, при этом вместо дистиллированной воды используют раствор смачивателя.

Истинную плотность активированного порошка ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(m - m_1)\rho_c}{m - m_1 + m_2 - m_3}, \quad (25)$$

где m – масса колбы с порошком, г; m_1 – масса пустой колбы, г; m_2 – масса колбы с раствором смачивателя, г; m_3 – масса колбы с порошком и раствором смачивателя, г; ρ_c – плотность раствора смачивателя, г/см³.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до второго десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,02 г/см³. В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения. Истинную плотность вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

Определение истинной плотности порошковых отходов промышленного производства

Керосин подготавливают следующим образом: в стеклянную колбу вместимостью 1 л вставляют стеклянную воронку с бумажным фильтром. На фильтр высыпают 120 – 150 г силикагеля, 500 мл осветительного керосина небольшими порциями фильтруют через силикагель в воронке.

Определяют плотность керосина пикнометрическим методом по ГОСТ 3900. Взвешивают две чистые и высушенные мерные колбы. В каждую колбу помещают подготовленные к испытанию навески порошка, около 50 г, после чего колбы с порошком вновь взвешивают и на 1/3 заполняют очищенным керосином. Колбы помещают в вакуум-

ную установку и выдерживают 30 мин при остаточном давлении не более 0,002 МПа (15 мм рт. ст.). После этого колбы извлекают из вакуумной установки, выдерживают в течение 30 мин при комнатной температуре, заполняют керосином до черты на шейке и взвешивают. Затем колбы освобождают от содержимого, заполняют керосином до черты на шейке и взвешивают.

Истинную плотность порошка ρ , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{(m - m_1)\rho_k}{m - m_1 + m_2 - m_3}, \quad (26)$$

где m – масса колбы с порошком, г; m_1 – масса пустой колбы, г; m_2 – масса колбы с керосином, г; m_3 – масса колбы с порошком и керосином, г; ρ_k – плотность керосина, г/см³.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до второго десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,02 г/см³. В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения. Истинную плотность вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

– **Определение средней плотности** заключается в определении плотности порошка после уплотнения его в форме объемом 100 см³ под нагрузкой 40 МПа. Форма для уплотнения порошка (рис. 13) состоит из полого разъемного цилиндра. Объем нижней части формы – (100±3) см³. Нижнюю часть формы помещают на поддон, взвешивают, а затем на нее устанавливают верхнюю часть. Порошок порциями по 60–80 г переносят в собранную форму, послойно распределяют, штыкуют ножом или шпателем, заполняя ее на 15 – 20 мм ниже верхнего края, и слегка прижимают вкладышем.

Форму с порошком устанавливают на нижнюю плиту пресса, плавно доводят уплотняющую нагрузку до 40 МПа и поддерживают в течение 3 мин. После этого нагрузку снимают и форму с вкладышем переносят на противень. Вкладыш и верхнюю часть формы снимают, излишек порошка над нижней частью формы срезают ножом, наружные части формы и поддона очищают мягкой кистью. Нижнюю часть формы с порошком и поддоном взвешивают.

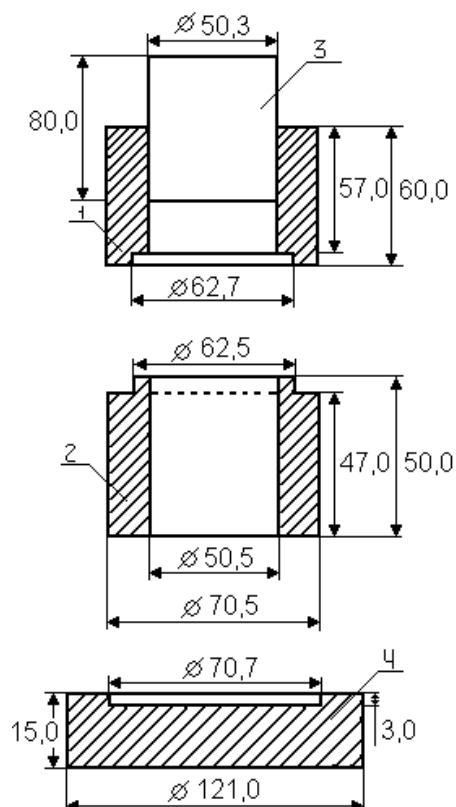


Рис. 13. Форма для определения средней плотности порошка:
 1 – верхняя часть разъемного цилиндра; 2 – нижняя часть разъемного цилиндра;
 3 – вкладыш; 4 – поддон

Среднюю плотность порошка ρ_m , г/см³, вычисляют по формуле

$$\rho_m = \frac{m - m_1}{V}, \quad (27)$$

где m – масса нижней части формы с поддоном и уплотненным минеральным порошком, г; m_1 – масса нижней части формы с поддоном, г; V – объем порошка, равный 100 см³.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до второго десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,02 г/см³.

В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до

получения допустимого расхождения. Среднюю плотность вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

– **Определение пористости** минерального порошка находят расчетом на основании предварительно установленных значений истинной плотности и средней плотности (см. выше).

Пористость порошка $V_{пор}$, %, вычисляют по формуле

$$V_{пор} = (1 - \frac{\rho_m}{\rho}) 100, \quad (28)$$

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

Результат испытаний вычисляют с точностью до целого числа.

– **Определение набухания образцов из смеси порошка с битумом** заключается в определении приращения объема образцов с водонасыщением от 4 до 5 % по объему из смеси порошка с битумом после насыщения их водой в условиях вакуума и последующего выдерживания в горячей воде.

Изготовление образцов из смеси минерального порошка и битума производят в металлических формах (рис. 14).

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. Ориентировочный расход битума, % от массы порошка, составляет:

- для активированных порошков – 10 – 15;
- для неактивированных порошков – 13 – 18;
- для отходов промышленного производства – 25 – 30.

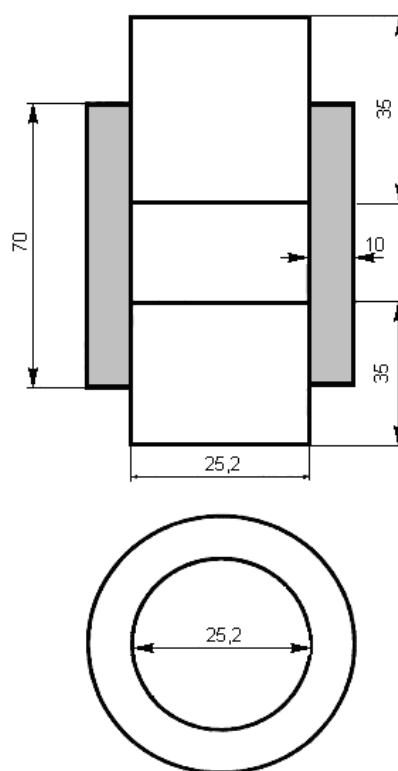


Рис. 14. Форма для изготовления образцов

От подготовленной пробы порошка отвешивают 100 г, помещают в металлическую чашку (миску) и нагревают до температур:

- для активированных порошков – от 135 до 140 °С;
- для неактивированных порошков и отходов промышленного производства – от 150 до 160 °С.

В нагретый порошок вводят предварительно обезвоженный битум с температурой от 140 до 160 °С (в зависимости от марки применяемого битума), перемешивают металлической ложкой, затем смесь помещают в лабораторную мешалку для окончательного перемешивания. Допускается готовить смесь вручную. Полученную смесь помещают в сушильный шкаф, где поддерживают температуру, указанную выше, для разных видов порошков. Формы и вкладыши нагревают до температуры от 90 до 100 °С и слегка протирают керосином или маслом. Форму со вставленным нижним вкладышем наполняют предварительно взвешенной смесью (от 25 до 30 г). Смесью в форме разравнивают, слабо штыкуют 4 – 5 раз ножом или шпателем, а затем прижимают вставленным в форму верхним вкладышем.

Форму со смесью устанавливают на нижнюю плиту пресса таким образом, чтобы и верхний и нижний вкладыши выступали из формы на 1 – 2 см. Верхнюю плиту пресса доводят до соприкосновения с верхним вкладышем и включают электродвигатель пресса. Давление на уплотняемую смесь плавно доводят до 10 МПа и выдерживают под этой нагрузкой 3 мин, после чего нагрузку снимают, а образец извлекают из формы с помощью выжимного приспособления.

Из каждой смеси изготавливают не менее трех образцов, для которых не ранее чем на следующий день после изготовления определяют водонасыщение по методике оценки водонасыщения, принятой для асфальтобетона в соответствии с разделом 13 ГОСТ 12801. На основе полученных данных строят график зависимости водонасыщения от содержания битума в смеси (рис. 15), по которому определяют количество битума, требуемое для получения водонасыщения в пределах от 4 до 5% по объему. С установленным количеством битума для проведения испытания изготавливают три образца. Образцы очищают от прилипших частиц смеси, после чего взвешивают на воздухе и в воде с температурой (20 ± 2) °С.

Взвешенные образцы помещают в вакуум-прибор с водой с температурой (20 ± 2) °С, при этом уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см. В вакуумной установке создают и поддерживают в течение 1 ч давление не более 0,002 МПа (15 мм рт. ст.). Затем дав-

ление доводят до атмосферного, при котором образцы выдерживают в течение 30 мин, после чего образцы переносят в другую емкость, в которой в течение 4 ч поддерживают температуру воды $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$. Через 4 ч образцы помещают в воду с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и оставляют на 16 – 18 ч, после чего образцы извлекают из воды, обтирают и взвешивают на воздухе и в воде. Если температура за истекшие 16–18 ч изменилась более чем на 2°C , то за 30 мин до взвешивания ее доводят до $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

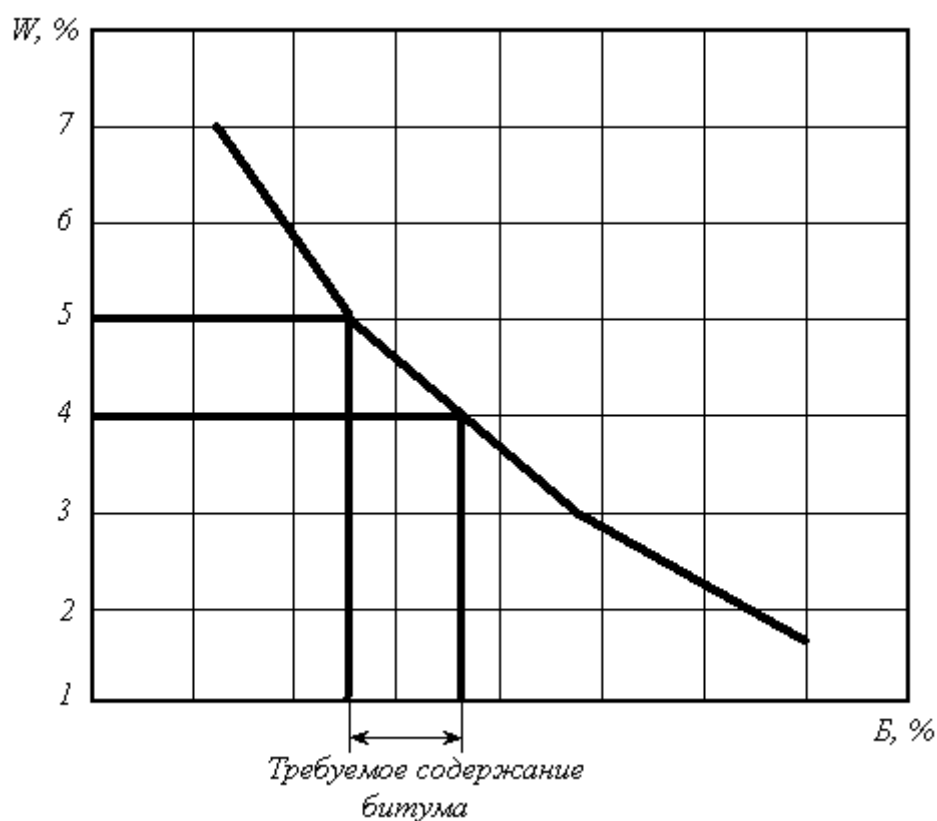


Рис. 15. Определение требуемого содержания битума

Набухание образцов H , %, вычисляют по формуле

$$H = \frac{(m_2 - m_3) - (m - m_1)}{m - m_1} 100, \quad (29)$$

где m – масса образца на воздухе, г; m_1 – масса образца в воде, г; m_2 – масса образца на воздухе после испытания, г; m_3 – масса образца в воде после испытания, г.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до первого десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхож-

дение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,2%. В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения. Набухание вычисляют как среднеарифметическое значение результатов трех параллельных испытаний.

– **Определение водостойкости образцов из смеси порошка с битумом** заключается в оценке степени падения прочности при сжатии образцов из смеси порошка с битумом после насыщения их водой в условиях вакуума и последующего выдерживания в горячей воде.

Для определения водостойкости изготавливают шесть образцов с водонасыщением от 4 до 5% по объему. Три образца насыщают водой в режиме, приведенном выше, и три образца выдерживают перед испытанием при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1 ч в воде. Прочность при сжатии образцов определяют при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ по ГОСТ 12801.

Водостойкость $K_{вод}$ вычисляют по формуле

$$K_{вод} = \frac{R_{вод}}{R}, \quad (30)$$

где $R_{вод}$ – предел прочности при сжатии образцов после насыщения водой, МПа; R – предел прочности при сжатии образцов, выдержанных перед испытанием при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1 ч в воде, МПа.

– **Определение показателя битумоемкости** заключается в определении количества масла, при котором смесь его с 100 см^3 порошка имеет заданную консистенцию.

Из подготовленной пробы отвешивают порцию порошка 200 – 250 г. В фарфоровую чашку диаметром 10 – 12 см отвешивают 15 г масла с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. К маслу постепенно небольшими порциями добавляют порошок и тщательно перемешивают с ним. Когда смесь приобретает пастообразную консистенцию и не прилипает к стенкам и дну фарфоровой чашки, ее помещают в металлическую чашку диаметром 50 мм и высотой 20 мм, выравнивая ножом или шпателем вровень с краями. Металлическую чашку со смесью устанавливают на подставку прибора Вика с дополнительным грузом массой $(170 \pm 0,5)$ г, укрепленным на верхней площадке стержня и с пестиком диаметром (10 ± 1) мм, подводят пестик к поверхности смеси и

отмечают положение указателя на шкале. Затем пестик поднимают над поверхностью смеси на 20 мм и дают возможность стержню с пригрузом и пестиком свободно погружаться в смесь в течение 5 с, после чего отмечают положение указателя на шкале и определяют глубину погружения, которая должна быть 8 мм. Если полученная величина погружения больше 8 мм, смесь вновь помещают в фарфоровую чашку, добавляют порошок, перемешивают и повторяют испытание.

Если полученная величина погружения меньше 8 мм, делают новую смесь порошка с маслом, используя количество порошка меньше первоначального, и снова повторяют испытание.

Показатель битумоемкости $ПБ$, г, вычисляют по формуле

$$ПБ = \frac{15 \cdot \rho}{m - m_1} \cdot 100, \quad (31)$$

где m – масса отвешенной порции порошка, г; m_1 – масса оставшегося после испытания порошка, г; ρ – истинная плотность порошка, г/см³; 100 – объем порошка, см³.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до целого числа. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2 г. В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения. Показатель битумоемкости порошка вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

– **Определение гидрофобности активированного порошка** состоит в оценке способности порошка не смачиваться водой.

Определение гидрофобности методом свободного флотирования

Стеклянный стакан заполняют дистиллированной водой на 50 мм ниже края. От подготовленной пробы отвешивают около 2 г порошка, сыпают его со шпателя на поверхность воды легким постукиванием шпателя по краю стакана. Стакан с водой и порошком оставляют в покое на 24 ч. Порошок считают гидрофобным, если за 24 ч он не осядет на дно и не будет наблюдаться видимого смачивания порошка водой.

Определение гидрофобности ускоренным методом

Стекло́нный стакан заполняют дистиллированной водой на 50 мм ниже края и ставят на уровне глаз (для удобства наблюдения) на ровную поверхность (стол или подставку), предварительно покрытую листом бумаги, на которую нанесены две параллельные линии на расстоянии 50 мм друг от друга.

Стакан устанавливают таким образом, чтобы одна из линий на бумаге являлась касательной к основанию стакана. От подготовленной пробы порошка отвешивают около 0,5 г и ссыпают его со шпателя на поверхность воды легким постукиванием шпателя по краю стакана. Стакан двигают от одной линии к другой и обратно. Цикл, включающий два движения (путь в 100 мм), должен выполняться за 1 с плавно, без рывков. Порошок считают гидрофобным, если после 10 циклов перемещений стакана не наблюдается даже легких («туманных») потоков порошка с поверхности воды ко дну стакана.

– **Определение влажности** заключается в определении содержания влаги в порошке. Вымытые чашки помещают не меньше чем на 30 мин в сушильный шкаф при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, затем охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры.

Испытание проводят в двух чашках. Каждую чашку, подготовленную как указано выше, взвешивают. Из пробы порошка берут две навески по (50 ± 5) г и высыпают в чашки, заполняя их равномерно без уплотнения. Чашки с порошком взвешивают и помещают в сушильный шкаф с температурой $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, где высушивают порошок до постоянной массы, для установления которой чашки с порошком взвешивают через каждый час, охлаждая предварительно до комнатной температуры в эксикаторе с безводным хлористым кальцием.

Влажность порошка W , % по массе, вычисляют по формуле

$$W = \frac{m - m_1}{m - m_2} 100, \quad (32)$$

где m – масса чашки с порошком до высушивания, г; m_1 – масса чашки с порошком после высушивания, г; m_2 – масса чашки, г.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до первого десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,2%. В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения. Влажность по-

рошка вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

– **Определение содержания активирующих веществ в активированном порошке** производят колориметрическим методом и методом выжигания.

Колориметрический метод

Сущность метода заключается в определении содержания активирующего вещества путем сравнения цвета растворителя, которым обрабатывается порошок, с цветом эталонов. Данный метод непригоден в случае применения для активации порошков материалов, не окрашивающих растворитель. В лабораторной мельнице приготавливают 8 проб активированных порошков по 2000 г каждая с содержанием активирующего вещества 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,25; 1,50; 1,75 и 2,0% массы минеральной части.

Каждую приготовленную пробу тщательно перемешивают, уменьшают методом квартования до 125 г, отвешивают от нее по 1 г порошка и высыпают в чистые сухие пробирки, в которые затем заливают 10 мл растворителя. Пробирки закрывают корковыми пробками, тщательно встряхивают в течение 1 мин и центрифугируют в течение 3 мин при скорости центрифуги 3000–5000 об/мин. При отсутствии центрифуги пробирки после встряхивания оставляют в покое на 24 ч. Затем верхний конец пробирки вместе с пробкой парафинируют, пробирки маркируют с указанием содержания активирующего вещества в порошке и устанавливают в штатив.

Цвет раствора в пробирке служит эталоном при определении содержания активирующего вещества в порошке. Пробу порошка массой 500 г тщательно перемешивают, уменьшают методом квартования до 50–100 г, отвешивают от нее 1 г порошка, высыпают его в пробирку и обрабатывают растворителем, как указано выше. Цвет полученного в пробирке раствора сравнивают с эталонами, приготовленными ранее, и устанавливают содержание активирующего вещества в порошке. Содержание активирующего вещества в минеральном порошке определяют по результатам двух параллельных испытаний.

Метод выжигания

Содержание активирующего вещества в минеральном порошке определяют по потере массы при выжигании по ГОСТ 12801, при этом масса испытуемой пробы должна быть не менее 50 г.

– **Определение содержания водорастворимых соединений** заключается в определении содержания в порошке соединений, способных растворяться в воде.

Из подготовленной пробы берут навеску массой около 50 г, всыпают ее в коническую колбу и заливают 100 мл дистиллированной воды. На колбе закрепляют обратный холодильник. Содержимое колбы нагревают до кипения на песчаной бане, кипятят в течение часа, после чего охлаждают до комнатной температуры. Образовавшуюся водную вытяжку выливают во вторую колбу через фильтр, предварительно смоченный дистиллированной водой. Остаток в первой колбе промывают дистиллированной водой порциями по 20–25 мл и также сливают через фильтр во вторую колбу. Из второй колбы фильтрат частями переносят в предварительно высушенный до постоянной массы и взвешенный стеклянный стаканчик и выпаривают из него воду на песчаной бане. После того как водная вытяжка, перенесенная в стаканчик, выпарится до объема около 5 мл, остаток сушат до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и после охлаждения в эксикаторе взвешивают.

Содержание водорастворимых соединений A , % по массе, вычисляют по формуле

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m} 100, \quad (33)$$

где m – масса навески минерального порошка, г; m_1 – масса стаканчика с сухим остатком, г; m_2 – масса стаканчика, г.

Результат каждого испытания вычисляют с точностью до второго десятичного знака после запятой. Абсолютное допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,03 %. В случае превышения абсолютного допустимого расхождения между результатами определений испытание следует повторить до получения допустимого расхождения. Содержание водорастворимых соединений вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

Контрольные вопросы

1. Какие показатели свойств определяются у крупных заполнителей для асфальтобетона?

2. Какие показатели свойств определяются у мелких заполнителей для асфальтобетона?
3. Какие показатели свойств определяются у битума?
4. Какие показатели свойств определяются дополнительно у полимерно-битумных вяжущих?
5. Какие показатели свойств определяются у минерального порошка?

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА АСФАЛЬТОБЕТОНА И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОНА

7.1. Современное состояние методик проектирования составов асфальтобетонов

Рассмотрим существующие методики проектирования составов асфальтобетонов, разработанные учеными-дорожниками разных стран. Большинство существующих методик проектирования состава асфальтобетона решает две задачи: определение состава минеральной части и определение необходимого количества битума, обеспечивающего соответствие свойств асфальтобетона заданным требованиям. Проектирование состава минеральной части асфальтобетона может производиться: а) подбором массового содержания зернистых компонентов (щебня или гравия, песка, минерального порошка), обеспечивающих плавное прохождение общей кривой гранулометрии минеральной части в области, ограниченной предельными кривыми для заданного вида и типа асфальтобетона; б) экспериментальным подбором содержания зернистых компонентов, обеспечивающих наименьший объем межзерновых пустот в минеральной части при заданном виде и структурном типе асфальтобетона; в) теоретическим расчетом объемного соотношения зернистых компонентов, обеспечивающих наиболее плотную упаковку зерен минеральной части асфальтобетона заданного вида и типа.

Определение необходимого и достаточного содержания битума в асфальтобетоне может производиться: а) экспериментальным подбором по данным испытания образцов из асфальтобетона с различным содержанием битума; б) предварительным расчетом, исходя из заполнения битумом межзерновых пустот минеральной части с учетом резерва остаточных пор, причем уточнение расчетного количества битума осуществляется экспериментально; в) расчетным путем,

исходя из покрытия битумной пленкой поверхности зерен минеральной части, причем корректирование расчета производится экспериментально. В различных методиках проектирования состава асфальтобетона могут комбинироваться приведенные выше методы решения основных задач.

Первая научно обоснованная методика проектирования состава асфальтобетона по асфальтовяжущему веществу была разработана в 1909 г. проф. П.В. Сахаровым.

В основе метода лежат следующие основные предпосылки:

1. Асфальтобетон состоит из каменного остова (щебня или гравия, песка и их смесей) и цементирующего вещества, названного П.В. Сахаровым асфальтовым вяжущим, которое представлено битумом с асфальтирующей добавкой – тонкомолотым известняковым порошком.

2. Прочность, плотность асфальтобетона и его устойчивость к внешним воздействиям определяются свойствами асфальтовяжущего, которые регулируются соотношением битума и минерального порошка Б/МП, а также степенью заполнения межзерновых пустот асфальтовяжущим.

3. Асфальтовяжущее должно обладать определенной прочностью, термической устойчивостью и водоупорностью.

4. Состав каменного остова может подбираться любым способом, обеспечивающим его минимальную пустотность, что сокращает расход асфальтовяжущего и снижает стоимость асфальтобетона.

Методика является экспериментальной, к достоинству методики следует отнести научно обоснованный подход, впервые вскрывший взаимосвязи структуры, состава и свойств асфальтобетона.

Недостатки метода являются следствием ряда использованных в нем допущений:

- Свойства асфальтобетона зависят в основном от состава, свойств и количества асфальтовяжущего. Это допущение справедливо только для асфальтобетонов с базальной макроструктурой, широко применявшихся в дорожной практике первой половины XX в. Современное дорожное строительство испытывает потребность в асфальтобетонах с повышенной деформационной устойчивостью и шероховатостью, в структуре которых повышено содержание крупных зерен, образующих устойчивый каркас.

В таких асфальтобетонах каркас воспринимает значительную долю нагрузки, что существенно меняет роль асфальтовяжущего в их структуре и прочности.

- Состав и свойства асфальтовяжущего не изменяются при введении в него зерен щебня (гравия) и песка. Современные исследования показали, что это допущение ошибочно: состав и свойства асфальтовяжущего существенно изменяются за счет отвлечения части битума на смачивание поверхности зерен. Следовательно, состав и свойства асфальтовяжущего должны определяться на основании особенностей поверхности и содержания зерен щебня (гравия) и песка в структуре асфальтобетона.

Метод проектирования состава асфальтобетона по предельным кривым плотных смесей был разработан в 1930 г. проф. Н.Н. Ивановым. Исследования проф. Н.Н. Иванова и проф. В.В. Охотина позволили установить закономерность гранулометрического состава минеральной смеси, обладающей наименьшей пустотностью.

В России метод предельных кривых является общепринятым, включен в ГОСТ 9128 и основывается на следующих принципах:

1. Устойчивость к внешним воздействиям и экономичность асфальтобетона тем выше, чем выше плотность упаковки зерен минеральной части и ниже ее суммарная удельная поверхность при оптимальном содержании битума.

2. Гранулометрический состав плотной зернистой смеси задан уравнением, варианты которого соответствуют кривым, ограничивающим область допустимых зерновых составов. В отечественной дорожной практике до 1967 г. использовалось уравнение, предложенное проф. В.В. Охотиным и проф. Н.Н. Ивановым и основанное на закономерности геометрической прогрессии [6]:

$$q_n = K_c^{n-1} \frac{1 - K_c}{1 - K_c^m} \cdot 100\%, \quad (34)$$

где q_n – частный остаток на сите, % массы; n – порядковый номер данного сита при счете от верхнего; K_c – коэффициент сбегания, равный величине отношения массового содержания последующей фракции к предыдущей и отражающей закономерность убывания содержания фракций, $0 \leq K_c \leq 1,0$; m – общее число фракций, составляющих данную зернистую смесь.

В переработанном ГОСТ 9128–67 нашли отражение новые принципы структурообразования асфальтобетона, важная роль в котором была отведена содержанию щебня. В стандарте использовано предложенное Н.В. Горелышевым новое уравнение предельных кривых:

$$y = \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3, \quad (35)$$

коэффициенты которого были рассчитаны для каждого структурного типа асфальтобетона. В последнем ГОСТ 9128–2013 сохранены те же принципы и закономерности предельных кривых.

3. Оптимальное количество битума соответствует наилучшему комплексу технических свойств асфальтобетона и обеспечивает их соответствие действующим требованиям.

Методика является экспериментальной или экспериментально-расчетной. Достоинство методики состоит в простоте и доступности ее реализации, в отсутствии сложных расчетов и экспериментов. Проектирование фактически сводится к уточнению нормативного состава с учетом гранулометрического состава зернистых компонентов. Однако ограничение области допустимых составов минеральной части асфальтобетонных смесей порождает трудности при проектировании и производстве. Как правило, приходится перестраивать зерновой состав исходных компонентов (рассеивать, хранить и дозировать по фракциям), иначе успех подбора требуемого состава минеральной части и его точное соблюдение не гарантируются.

Проектирование составов асфальтобетонных смесей с прерывистой гранулометрией допускает более широкий выбор каменных материалов. Недостатками анализируемой методики являются переоценка роли минерального порошка как компонента минеральной части и недооценка его роли как компонента асфальтовяжущего. Заданное содержание порошка в минеральной части обуславливает необходимость поиска только условно-оптимального количества битума, а не действительно-оптимального состава и количества асфальтовяжущего, обеспечивающего требуемую прочность и плотность асфальтобетона.

Предельные кривые выражают требуемый зерновой состав минеральной части в виде массового содержания фракций. При значительной разнице между средними плотностями зерен щебня (гравия) и песка возникает ошибка в оценке действительного состояния струк-

туры асфальтобетона. Такой случай возможен при использовании щебня с высокой средней плотностью, например отходов сепарации железных руд, или с низкой, например ракушечников и пористых шлаков. Указанный недостаток принципа предельных кривых можно устранить путем введения в расчет поправочных коэффициентов, но эта мера не предусмотрена действующим стандартом [11]. Методика проектирования состава асфальтобетона по растворной части была разработана А.В. Окниным, Б.А. Козловским, позднее развита и в отдельных положениях упрощена проф. А.Я. Тихоновым.

Ее основные принципы заключаются в следующем:

1. Асфальтовый раствор определяет прочность и плотность асфальтобетона и обладает достаточно постоянной структурой при переменном количестве щебня (гравия).

2. Прочность асфальтового раствора изменяется прямо пропорционально содержанию минерального порошка при оптимальном количестве битума.

3. Оптимальное содержание минерального порошка и битума должно обеспечить требуемые показатели прочности и водонасыщения асфальтового раствора. Для образования битумной пленки на зернах щебня (гравия) необходимо предусмотреть резерв битума (по рекомендации проф. А.Я. Тихонова, достаточно 0,6–1,0 % от массы щебня или гравия).

4. Для обеспечения плотности, прочности и водостойкости асфальтобетона растворная часть подобранного состава должна заполнить межзерновые пустоты в щебне (гравии). Для повышения удобообрабатываемости асфальтобетонной смеси объем раствора должен быть на 5–10 % больше объема межзерновых пустот в щебне (гравии), находящемся в рыхлонасыпном состоянии.

Эта экспериментально-расчетная методика обладает рядом достоинств, заключающихся в возможности получения асфальтобетона с заданными свойствами, управления прочностью и плотностью асфальтобетона за счет состава и количества асфальтовяжущего, регулирования открытой пористости растворной части и асфальтобетона, учета дополнительного количества битума на смачивание зерен щебня (гравия), регулирования удобоукладываемости и уплотняемости асфальтобетонной смеси.

Недостатки этой методики являются следствием ограниченной области приложения ее основополагающих принципов. Так как асфальтовому раствору отведена главная роль в структурообразовании

асфальтобетона, то проектирование состава производится по схеме «состав и свойства раствора – состав и свойства асфальтобетона». Это значит, что структура и состав асфальтового раствора проектируются так же, как песчаного асфальтобетона, т.е. независимо от содержания щебня (гравия), которое учитывается впоследствии только путем резервирования дополнительного количества битума на смачивание этих зерен. При таком подходе остается неучтенным неизбежное изменение структуры раствора при введении в него зерен щебня (гравия), изменяющих условия первоначальной упаковки зерен песка. Поэтому методика применима только для асфальтобетонов, в которых концентрация щебня (гравия) невелика (до 30% по объему в плотном теле или до 35% по массе) и несущественно изменяет условия исходной упаковки зерен песка в асфальтовом растворе.

Следует обратить внимание на то, что современная постановка задачи проектирования состава асфальтобетона требует, прежде всего, обеспечения необходимой микроструктуры, поэтому последовательность проектирования должна быть такой: выбор типа макро-структуры – определение границ содержания щебня (гравия) – проектирование структуры и состава асфальтового раствора с учетом содержания щебня (гравия).

Французский ученый-дорожник проф. М. Дюрье разработал методику проектирования состава асфальтобетона по модулю насыщения, которая основана на следующих принципах:

1. Зерновой состав минеральной части должен обеспечивать достаточную плотность упаковки зерен. При составлении минеральной смеси используется принцип последовательного заполнения межзерновых пустот в щебне (гравии) песком, в песке – минеральным порошком, причем учитывается возможность раздвижки более крупных зерен заполняющим компонентом. Рекомендуются использовать и кривые плотных смесей, построенные М. Дюрье на основе экспериментов.

2. Содержание вяжущего в асфальтобетоне является возрастающей функцией удельной поверхности минеральной части. Удельная поверхность S_y , $\text{м}^2/\text{кг}$, по рекомендации М. Дюрье может быть рассчитана по формуле

$$100S_y = 0,25Щ(\Gamma) + 2,3П_k + 12П_m + 135ПП, \quad (36)$$

где $Щ(Г)$, $П_k$, $П_m$, $МП$ – содержание в минеральной части соответственно зерен щебня (гравия) крупнее 5 мм, песка крупного (фракция 0,315 – 5,0 мм), песка мелкого (фракция 0,08 – 0,315 мм) и минерального порошка (фракция < 0,08 мм).

М. Дюрье вводит понятие о среднем диаметре зерна α_{cp} , при котором совокупность одномерных зерен имеет ту же удельную поверхность, что и реальная полизернистая смесь. Значение α_{cp} , мм, определяется по формуле

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha}{S_y}, \quad (37)$$

где $\alpha = 6000/\rho_m$ – коэффициент, учитывающий сферичность условного среднего зерна и среднюю плотность зерен минеральной смеси ρ_m ; S_y – удельная поверхность, $м^2/кг$.

3. Зерна минеральной части должны быть покрыты пленкой вяжущего, толщина которой нелинейно растет с увеличением размера зерен. Для определения усредненной толщины этой пленки δ_{cp} М. Дюрье предлагает экспериментальную зависимость, которая с учетом выражения (36) имеет вид

$$\delta_{cp} = b d_{cp}^\beta = \alpha^\beta b / S_y^\beta = m / \sqrt[\beta]{S_y}, \quad (38)$$

где b – коэффициент пропорциональности; β – показатель степени; по данным М. Дюрье, $\beta=0,8$. Тогда массовое содержание вяжущего B , массы при его плотности, близкой к единице, с учетом выражения (37) определится по формуле

$$B = \delta_{cp} S_y = m \sqrt[\beta]{S_y}, \quad (39)$$

где m – модуль насыщения вяжущим, равный процентному содержанию вяжущего в минеральной смеси, имеющей удельную поверхность $1 м^2/кг$.

М. Дюрье предлагает регулировать содержание вяжущего, назначая величину модуля насыщения. На основании данных исследований и производственного опыта установлены рекомендуемые значения этого модуля с учетом вида вяжущего материала и асфальтобе-

тона, а также условий его работы в дорожной конструкции ($m = 3,0 - 5,0$).

Методика является экспериментально-расчетной. Достоинство методики состоит в простоте её практического использования, в теоретической обоснованности принятого в ней управляющего параметра – модуля насыщения вяжущим. Необходимо отметить комплексность воздействия этого параметра: он управляет содержанием вяжущего в асфальтобетоне, связывая с ним состав и удельную поверхность минеральной части, содержание порошка.

Кривые плотных смесей являются рекомендуемыми, а не обязательными, так что допускается подбор состава минеральной части с использованием принципа последовательного заполнения межзерновых пустот с учетом раздвижки зерен.

Методика допускает существование множества вариантов состава, ограниченного заданным значением модуля насыщения или интервалом его значений. Однако этот показатель не дает точного представления об ожидаемом результате проектирования: типе структуры асфальтобетона, остаточной пористости, предполагаемой прочности.

Ограниченность методики проявляется в рекомендуемых значениях модуля насыщения, установленных для характерных исходных материалов, производственных составов асфальтобетона, природных условий и особенностей дорожного строительства фракции. Расчетные формулы методики упрощены за счет усреднения некоторых характеристик исходных материалов. Отклонения от принятой средней величины могут повлечь существенные ошибки при назначении состава асфальтобетона. Учет действительных характеристик исходных материалов в формулах (36) и (38) усложняет расчетную часть методики за счет введения дополнительных переменных.

В ряде штатов США широко используется методика проектирования состава асфальтобетона методом керосинового эквивалента. Методика, разработанная Хвимом [23], получила свое название по использованному в ней методу определения содержания вяжущего:

1. Минеральный остов асфальтобетона должен обладать наибольшей статической устойчивостью, обеспеченной плотной упаковкой зерен в каркасе.

2. Оптимальное содержание органического вяжущего определяется достигнутой максимальной прочностью асфальтобетона, которой соответствует полное обволакивание зерен пленкой вяжущего с уче-

том особенностей каменного материала и битума (пористость, шероховатость, адгезия, вязкость в др.). Оптимальное количество вяжущего B , % массы минеральной части, вычисляется по формуле

$$B=0,0015K\sqrt{E}, \quad (40)$$

где E – удельная поверхность минеральной части, $\text{м}^2/\text{кг}$; K – экспериментально определяемый коэффициент, отражающий особенности каменного материала и вяжущего.

3. Коэффициент K определяется специальным методом, заключающимся в определении с помощью системы номограмм такого количества битума, которое эквивалентно содержанию керосина, оставшегося в порах и на поверхности минеральных зерен после их смачивания и центрифугирования.

Методика является экспериментально-расчетной. Подход, реализованный в этой методике, близок к принципам проектирования состава асфальтобетона по модулю насыщения вяжущим (см. выше). К *достоинствам методики*, разработанной Хвимом, относятся учет особенностей компонентов, используемых в проектируемом асфальтобетоне, и испытание образцов асфальтобетона в условиях трехосного сжатия, моделирующего работу конструктивного слоя в дорожной одежде.

К *недостаткам методики* следует отнести необходимость специального оборудования и приборов (центрифуги, стабилметра, осуществляющего трехосное сжатие, и др.), условность перехода к оптимальному содержанию битума от керосинового эквивалента, многочисленность различных поправок, усложняющих расчетную часть методики, значительную трудоемкость её осуществления.

В Англии и Бельгии используют методики проектирования состава асфальтобетона по прочности и плотности асфальтовяжущего:

1. Минеральная часть асфальтобетона должна обладать наибольшей плотностью, что способствует повышению его прочности и экономичности.

2. Наибольшая прочность асфальтобетона достигается при наибольшей прочности и плотности асфальтовяжущего.

3. Асфальтовяжущее обладает максимальной прочностью и плотностью при соотношении битума и минерального порошка, соответствующем заполнению битумов межзерновых пустот в сухом уплотненном минеральном порошке.

Методика является экспериментально-расчетной. Основные принципы и последовательность проектирования практически совпадают с разработками проф. П.В. Сахарова (см. выше), поэтому ей присущи те же достоинства и недостатки. Представляет особый интерес принцип расчетного определения оптимального состава асфальтовяжущего, подтвержденный исследованиями профессоров И.А. Рыбьева [9] и И. В. Королева [8].

В. Н. Ковалевичем был разработан экспериментально-аналитический метод расчета состава пластбетонов на термореактивных смолах. Основные положения метода заключаются в следующем:

1. Состав минеральной части пластбетонов проектируется по принципу последовательного заполнения межзерновых пустот в щебне (гравии) полимерно-песчаным раствором, в песке – полимерной мастикой, причем учитывается возможность раздвижки более крупных зерен заполняющим компонентом.

2. Объемное соотношение минеральных компонентов определяется в литрах на 1 м^3 пластбетона:

$$V_n = V_n^o \cdot V_n \cdot \alpha; \quad (41)$$

$$V_n = V_{щ}^o \cdot V_o \cdot \alpha; \quad (42)$$

$$V_{щ} = 1000 - (\alpha_1 - 1)V_n, \quad (43)$$

где $V_n^o = \frac{1 - \gamma_{on}}{\gamma_n}$ – пустотность песка; γ_{on} – насыпная плотность песка;

γ_n – средняя плотность песка; $V_{щ}^o = \frac{1 - \gamma_{ощ}}{\gamma_{щ}}$ – пустотность щебня;

$\gamma_{ощ}$ – насыпная плотность щебня; $\gamma_{щ}$ – средняя плотность щебня;

$V_n, V_n, V_{щ}$ – объемное содержание соответственно наполнителя (минерального порошка), песка, щебня, л; α – коэффициент раздвижки зерен песка $\alpha=1,1$; α_1 – коэффициент раздвижки зерен щебня, $\alpha_1=1,1-1,2$.

3. Массовое соотношение количества щебня, песка и наполнителя (минерального порошка) определяется после решения системы уравнений (40)–(42):

$$П = \frac{1000\gamma_{on}}{(\gamma_1 - 1) + \frac{1}{V_{щ}^o\alpha_1}}; \quad (44)$$

$$H = V_{пор}^o \frac{n}{\gamma_{он}} \gamma_{он} \alpha; \quad (45)$$

$$\Pi = [1000 - (\alpha_1 - 1) \frac{\Pi}{\gamma_{он}}] \cdot \gamma_{он}, \quad (46),$$

где $\gamma_{он}$ – насыпная плотность наполнителя (минерального порошка); Π , H , Π – количество песка, наполнителя (минерального порошка) и щебня, кг на 1 м³ пластбетона.

4. Количество полимерного вяжущего определяется по формуле

$$C = \frac{(HF_n + PF_n + \Pi F_{щ}) \delta \gamma_c \eta K}{1000}, \quad (47)$$

где C – количество полимерного вяжущего, кг на 1 м³ пластбетона; F_n , F_n , $F_{щ}$ – удельная поверхность минерального наполнителя (минерального порошка), песка и щебня, см²/кг; δ – толщина пленки полимерного вяжущего, см; γ_c – плотность полимерного вяжущего, г/см³; η – отношение фактической вязкости полимерного вяжущего к вязкости, равной 20 с по ВЗ-4, принятой за эталон; $K = 1,05 - 1,10$ – коэффициент, учитывающий увеличение полимерного вяжущего, необходимого для некоторой раздвижки зерен песка полимерной мастикой.

Методика является экспериментально-расчетной. К достоинству метода следует отнести способ определения содержания минеральных компонентов по принципу последовательного заполнения пустот в крупном наполнителе более мелким компонентом с учетом раздвижки зерен крупного наполнителя более мелкими зернами. Рациональным является расчет необходимого количества полимерного вяжущего, основанный на покрытии всех зерен минеральной части пленкой вяжущего оптимальной толщины, при этом учитывается необходимость раздвижки зерен песка полимерной мастикой.

Недостатки метода являются следствием ограничения области его применения пластбетонами на терморезактивных смолах. В нем не учтена возможность регулировать макроструктурный тип. Значения коэффициентов раздвижки зерен щебня (гравия) и песка даны приближенно, без учета возможных особенностей используемого материала. При использовании термопластичных вяжущих (битума) оптимальная толщина пленок на зернах будет зависеть не только от вязко-

сти вяжущего, размера и удельной поверхности минеральных зерен, но и от природы каменных материалов (основные или кислые).

Проф. И. А. Рыбьевым [9] разработана пока единственная, позволяющая получить асфальтобетон с заданными свойствами, методика проектирования состава асфальтобетона по заданным эксплуатационным условиям работы покрытия. Методика разработана на основе исследований взаимосвязи структуры, состава и свойств асфальтобетона:

1. Установлено, что зависимость прочности асфальтобетона от структурных, механических и температурных факторов описывается обобщенным уравнением

$$R_2 / R_1 = (\delta_1 / \delta_2)^n \cdot (V_2 / V_1)^k \cdot (T_1 / T_2)^p, \quad (48)$$

где R_1, R_2 – прочность асфальтобетона, определенная соответственно при средних толщинах битумных пленок δ_1 и δ_2 , скоростях деформирования или нагружения V_1 и V_2 , температурах T_1 и T_2 ; n, k, p – показатели степени, отражающие соответственно адгезию битума к каменному материалу, пластичность асфальтобетона и характер зависимостей реологических свойств битума от температуры.

Уравнение (47) позволяет учитывать эксплуатационные условия работы асфальтобетонного слоя при проектировании состава асфальтобетона с заданными свойствами.

2. Технологические и эксплуатационные свойства асфальтобетона определяются:

- плотностью упаковки зёрен каркаса, образованного совместно с щебнем (гравием) и песком;
- объёмом асфальтовяжущего, заполняющего межзерновое пространство каркаса с учетом резерва остаточных пор;
- адгезионно-когезионными свойствами асфальтовяжущего и его составом, характеристикой которого является массовое отношение количества битума и минерального порошка $B/МП$.

3. Лучшими техническими свойствами асфальтобетон обладает при оптимальном отношении $B/МП^*$, которое обеспечивает максимальную прочность R_{ab}^* и плотность асфальтовяжущего. Отношение $B/МП^*$ соответствует такому состоянию асфальтовяжущего, когда битум заполняет межзерновые пустоты в сухом уплотненном минеральном порошке.

4. Экспериментально установлена закономерность взаимосвязи факторов, приведённых в пп. 2 и 3:

$$R_{a\bar{b}} = KR_{ab}^* / x^n; \quad (49)$$

$$K = [(P_{щ(z)+n} - P_{ост}) / P_{щ(z)+n}]^v; \quad (50)$$

$$x = (B / МП) : (B / МП)^*, \quad (51)$$

где $R_{a\bar{b}}$ и R_{ab}^* – прочность соответственно асфальтобетона и оптимального асфальтовяжущего, определенная в одинаковых условиях; K – коэффициент пористости асфальтобетона, выражающий степень заполнения асфальтовяжущим межзернового пространства каркаса; x – отношение фактической величины $B/МП$ в данном асфальтобетоне к величине $B/МП^*$ в оптимальном асфальтовяжущем; n – показатель степени, отражающий плотность минерального каркаса и адгезию вяжущего на поверхности зёрен; $P_{щ(z)+n}$ – пустотность минерального каркаса из щебня (гравия) и песка в уплотнённом состоянии, доля единицы объёма; $P_{ост}$ – заданная остаточная пористость асфальтобетона, доля единицы объёма; v – показатель степени, связанный с градиентом скорости деформации при испытании асфальтобетона.

5. Массовое соотношение количества щебня (гравия) и песка, образующих каркас асфальтобетона, определяется по принципу заполнения песком межзерновых пустот в щебне (гравии) с учетом степени раздвижки зерен щебня (гравия) песком:

$$П / Щ(Г) = P_{щ(z)} \alpha \rho_n^n / \rho_n^{щ(z)}, \quad (52)$$

где $P_{щ(z)}$ – пустотность щебня (гравия) в уплотненном состоянии, доля единицы объёма; $\rho_n^{щ(z)}$ и ρ_n^n – насыпные плотности соответственно щебня (гравия) и песка в уплотненном состоянии, т/м³; α – коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия).

Разработанная И.А. Рыбьевым расчетно-экспериментальная методика обладает несомненными *достоинствами*:

- лежащие в её основе закономерности изменения прочности асфальтобетона позволяют регулировать его состав и свойства при оптимальной структуре, обладающей наибольшей прочностью;

- принцип заполнения песком межзерновых пустот в щебне (гравии), на котором основан поиск соотношения $П/Щ$ ($Г$), открывает возможность использования каменных материалов с любой гранулометрией без их пофракционного отсева и дозирования.

Эта прогрессивная, хорошо обоснованная методика обладает и некоторыми недостатками, сдерживающими ее широкое внедрение:

- необходимость проведения вспомогательных экспериментальных работ (определение марки асфальтовяжущего R_{ab}^* , отношения $Б/МП^*$ и показателя n), объем которых возрастает с увеличением числа разновидностей поставляемых исходных материалов;

- трудность использования методики в случае проектирования состава асфальтобетона определенного макроструктурного типа, заданного требуемым содержанием щебня (гравия);

- неточность допущения, лежащего в основе выражения (52) и предполагающего, что в межзерновом пространстве щебня (гравия) при любом его содержании в смеси песчаные зерна всегда упаковываются с исходной плотностью (пустотностью), присущей уплотненному массиву данного песка.

Обзор состояния проектирования составов асфальтобетонов позволяет сделать следующие выводы:

1. В большинстве рассмотренных методик преобладает экспериментальный подбор состава и недостаточно развит математический аппарат его расчета, позволяющий уменьшить трудоемкость экспериментальной части и максимально использовать современные вычислительные средства.

2. Ни одна из рассмотренных методик не учитывает многовариантность возможных составов и не содержит аппарат оптимизации состава асфальтобетона по стоимости, следовательно, известные методики не вскрывают существенный резерв повышения экономичности асфальтобетона.

3. Наиболее теоретически обоснованной с точки зрения управления структурой, составом и свойствами асфальтобетона на стадии проектирования его состава является методика, разработанная проф. И.А. Рыбьевым.

7.2. Проектирование состава асфальтобетона по предельным кривым плотных смесей

Проектирование состава асфальтобетона заключается в выборе рационального соотношения между составляющими материалами, обеспечивающего оптимальную плотность минерального остова при требуемом количестве битума и получение асфальтобетона с заданными для конкретных условий техническими свойствами при определенной технологии производства работ [6, 7]. В настоящее время наиболее широкое распространение получил метод расчета по кривым плотных смесей. Наибольшая прочность бетона достигается при условии максимальной плотности минерального остова путем расчета зернового состава и определения содержания оптимального количества битума и минерального порошка.

Проектирование состава асфальтобетонной смеси проводят по заданию, составленному на основании проекта автомобильной дороги. В задании указываются тип, вид и марка асфальтобетонной смеси, а также конструктивный слой дорожной одежды, для которого она предназначена. Кроме того, необходимы данные о свойствах и стоимости исходных материалов.

Расчет состава асфальтобетона ведут по этапам: 1) определяют качество исходных материалов и оценивают соответствие их свойств установленным требованиям. Если имеется несколько разновидностей материалов, выбирают лучшие из них для конкретных условий работы асфальтобетона; 2) рассчитывают гранулометрический состав минеральной смеси по принципу минимума пустот; 3) определяют оптимальное количество битума; 4) определяют физико-механические свойства рассчитанных смесей и вносят коррективы в полученные составы смесей.

Основным показателем правильности расчета минеральной части является получение смеси с минимумом пустот. Как показали исследования профессоров В. В. Охотина и Н. Н. Иванова, между плотностью и гранулометрическим составом смеси имеется определенная зависимость. Оптимальными будут составы минеральных смесей, содержащие зерна различного размера, диаметры которых уменьшаются в 2 раза:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d_2}{d_3} = \frac{d_3}{d_4} \dots \frac{d_{m-1}}{d_m} = 2, \quad (53)$$

где d_1 – наибольший диаметр зерна минеральной смеси, устанавливается в зависимости от типа асфальтобетона; d_m – наименьший диаметр зерна, соответствует пылевой фракции минерального порошка (обычно 0,004–0,005 мм).

Массовое соотношение соседних фракций должно быть равно

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{y_3}{y_2} = \frac{y_4}{y_3} \dots \frac{y_n}{y_{n-1}} = 0,8. \quad (54)$$

Величина, которая показывает, во сколько раз количество последующей фракции меньше предыдущей, называется *коэффициентом сбега* K . При коэффициенте сбега 0,8 смесь получается с наибольшей плотностью. Однако вследствие того, что на практике подобрать минеральную смесь на материалах по коэффициенту сбега 0,8 трудно, проф. Н. Н. Иванов предложил принимать коэффициент сбега в пределах от 0,7 до 0,9, при которых практически смеси получаются достаточно плотные. Зная размеры фракций, их количество и принятый коэффициент сбега (например, $K=0,7$), составляют уравнения такого вида:

Фракции	Массовое количество
g^1	y_1 ;
g^2	$y_2 = y_1 K$;
g^3	$y_3 = y_2 K = y_1 K^2$;
g^4	$y_4 = y_3 K = y_1 K^3$;
g^n	$y_n = y_{n-1} K = y_1 K^{n-1}$.

Сумма массового количества всех фракций равна 100%, т. е.

$$y_1 + y_1 K + y_1 K^2 + y_1 K^3 + \dots + y_1 K^{n-1} = 100. \quad (55)$$

Аналогично определяется процентное содержание фракций для коэффициента сбега $K = 0,9$. На основе полученных данных можно построить предельные кривые, соответствующие выбранным коэффициентам сбега. Таким образом, получают две предельные кривые, ограничивающие область, внутри которой должны проходить все кривые зерновых составов минеральной части конкретных асфальтобетонных смесей. Такие смеси будут обладать необходимой минимальной пустотностью.

Минимальные значения коэффициента сбега характеризуют составы минеральной части асфальтобетона с высоким содержанием щебня и незначительным содержанием минерального порошка.

Составы, рассчитанные при максимальных значениях коэффициента сбега, содержат меньшее количество щебня, но повышенное количество минерального порошка (рис. 16).

Метод предельных кривых применяется во многих странах, его положения вошли в отечественные стандарты на дорожные асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны, а в ГОСТ 9128–2013 и на полимерасфальтобетонные смеси и полимерасфальтобетон (ГОСТ 9128–67, ГОСТ 9128–76, ГОСТ 9128–84, ГОСТ 9128–97, ГОСТ 9128–2009, ГОСТ 9128–2013).

Во многих регионах России невозможно по предельным кривым рассчитать зерновой состав плотной минеральной смеси с непрерывной гранулометрией, т.к. отсутствуют крупнозернистые пески и нет возможности обогащения мелких песков высевками. Смеси необходимой плотности могут быть подобраны по принципу прерывистой гранулометрии. На основании работ проф. Н. В. Горелышева в ГОСТ 9128 были введены нормы зерновых составов, ограниченных нижней непрерывной и верхней прерывистой кривыми [11], что позволило шире использовать мелкие пески (рис. 17).

Минеральную часть горячих мелкозернистых асфальтобетонных смесей при наличии крупного или среднего песка, а также отсеков дробления рекомендуется подбирать по непрерывным зерновым составам, при наличии мелкого природного песка – по прерывистым составам, где остов из щебня или гравия заполняется смесью, практически не содержащей зерен размером 5 – 0,63 мм.

Минеральную часть горячих песчаных и всех видов холодных асфальтобетонных смесей подбирают только по непрерывным зерновым составам (рис. 18). Зерновые составы пористых асфальтобетонных смесей приведены на рис. 19. Смесь щебня (гравия), песка и минерального порошка подбирают таким образом, чтобы кривая зернового состава располагалась в зоне, ограниченной предельными кривыми, и была по возможности плавной.

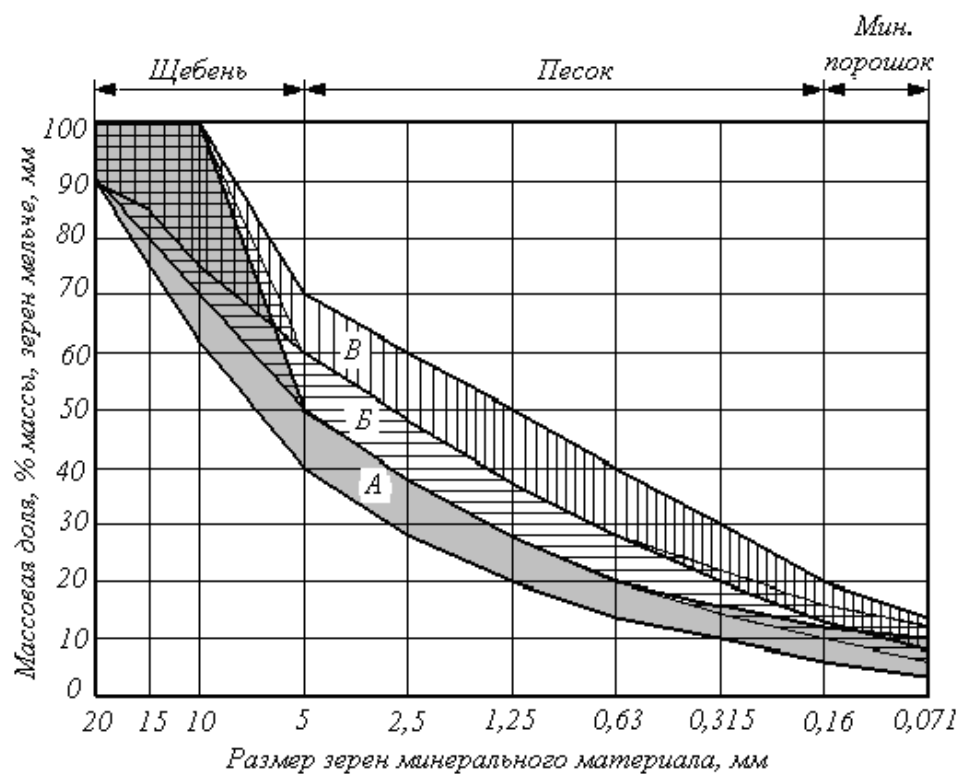


Рис. 16. График зернового состава плотных смесей с непрерывной гранулометрией

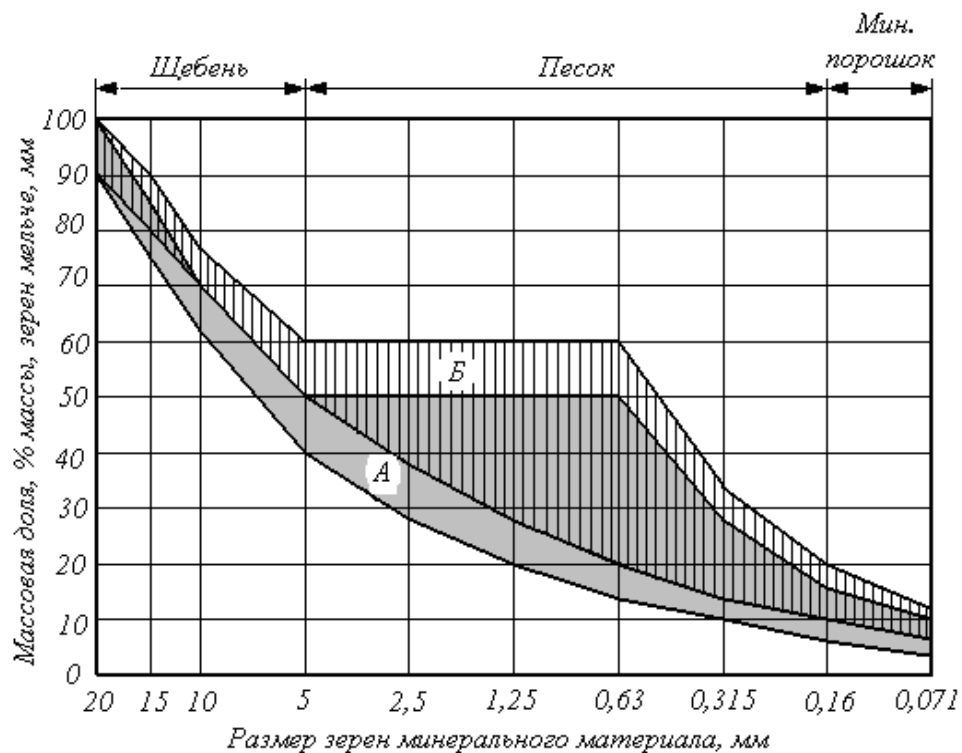


Рис. 17. График зернового состава плотных смесей с прерывистой гранулометрией

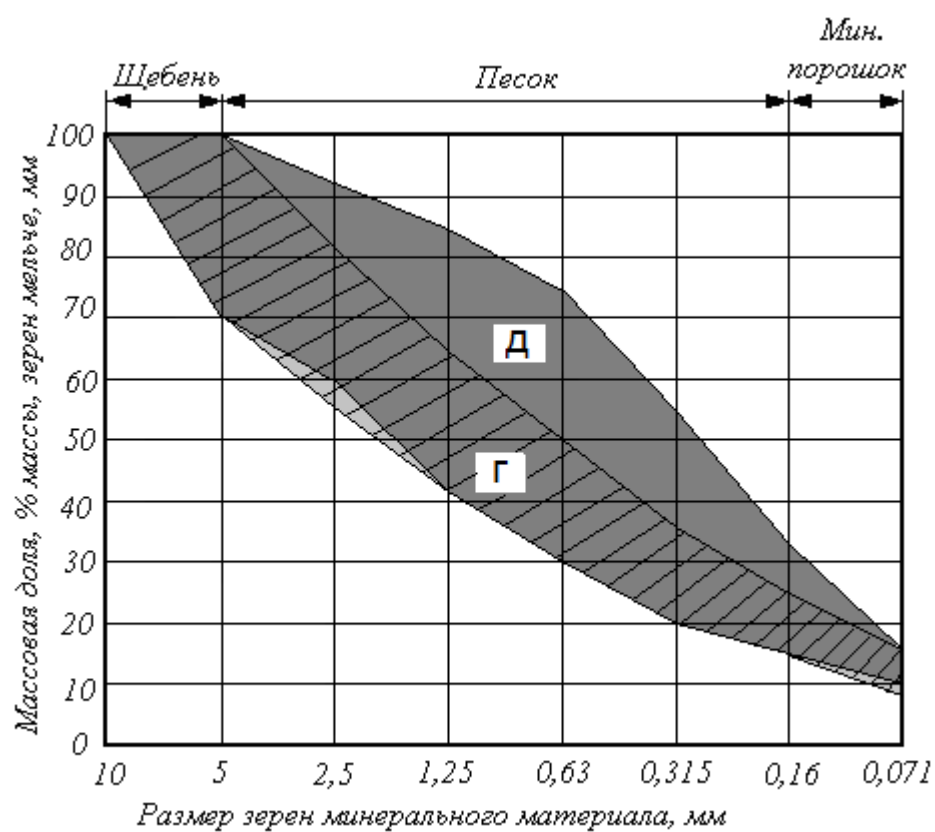


Рис. 18. График зернового состава плотных песчаных смесей

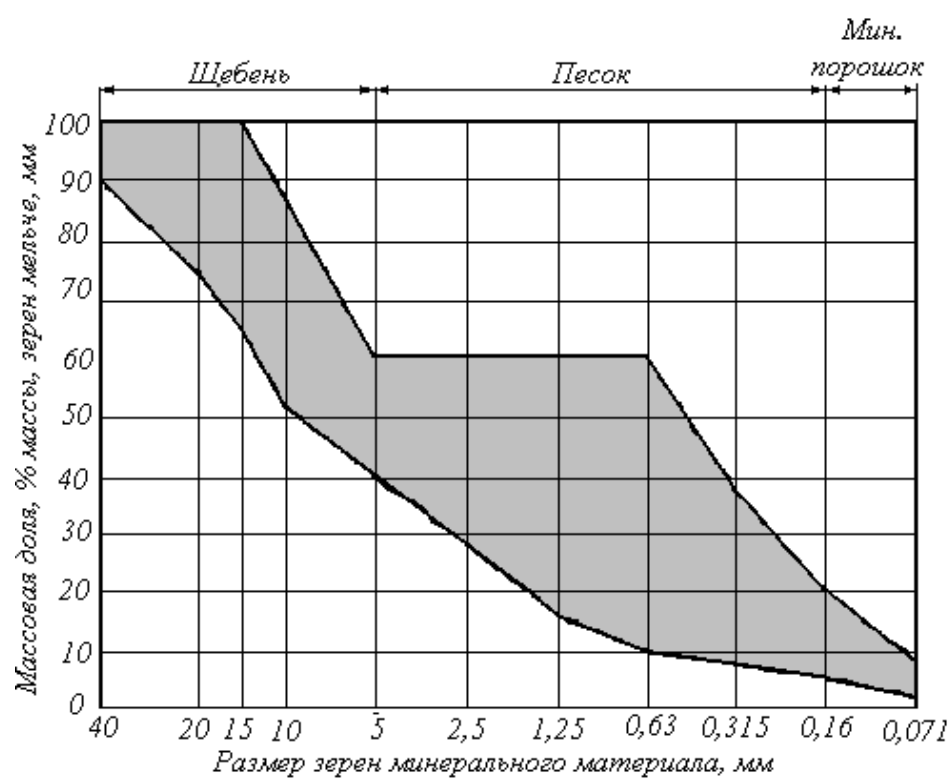


Рис. 19. График зернового состава пористых смесей

Подбор состава минеральной части из имеющихся компонентов (щебня или гравия, песка и минерального порошка) начинают с установления нормативных пределов содержания фракций:

– мельче 0,071 мм (тонкоизмельченных зерен минерального порошка) по табл. 4, т.е. устанавливают ограничение

$$МП_n^h \leq МП_p \leq МП_n^e; \quad (56)$$

– крупнее 5 мм (зерен щебня или гравия) по табл. 4, т.е. устанавливают ограничение

$$Щ(Г)_n^h \leq Щ(Г)_p \leq Щ(Г)_n^e, \quad (57)$$

где $Щ(Г)_n^h$, $Щ(Г)_n^e$, $МП_n^e$, $МП_n^h$ – нормативные нижние и верхние пределы содержания фракций крупнее 5 мм (щебня или гравия) и мельче 0,071 мм (тонкоизмельченная часть минерального порошка), % массы минеральной части.

Расчетное содержание зерен щебня (гравия), а также минерального порошка назначают с учетом их нормативного количества [см. формулы (55), (56)]. При подборе зернового состава смесей на дробленых песках и дробленом гравии, а также на материалах из отсеков дробления горных пород, для которых характерно высокое содержание тонкодисперсных зерен (мельче 0,071 мм), необходимо учитывать количество последних в общем содержании минерального порошка.

При использовании материалов из отсеков дробления горных пород полная замена минерального порошка их тонкодисперсной частью допускается в зависимости от природы горной породы (табл. 31).

Так как суммарное содержание минеральных компонентов в асфальтобетонной смеси составляет 100% [см. формулу (54)], то очевидно, что содержание песка $П$, % массы, можно рассчитать по формуле

$$П = 100 - Щ(Г)_p - МП_p. \quad (58)$$

В результате подбора зернового состава устанавливается процентное соотношение по массе между минеральными составляющими асфальтобетона: щебнем (гравием), песком и минеральным порошком.

Рекомендуемая область применения минеральных порошков

Марка минерального порошка	Вид минерального порошка	Область применения
МП-1	Активированный из карбонатных горных пород	Любые асфальтобетонные и органо-минеральные смеси
МП-2	Неактивированный из карбонатных горных пород	Любые асфальтобетонные и органо-минеральные смеси
МП-3	Из некарбонатных горных пород и твердых отходов промышленного производства	Любые асфальтобетонные и органо-минеральные смеси, кроме асфальтобетонных смесей I марки и щебеночно-мастичных смесей
	Порошковые отходы промышленного производства	Любые асфальтобетонные и органо-минеральные смеси, кроме асфальтобетонных смесей I и II марок и щебеночно-мастичных смесей

Содержание битума или ПБВ в смеси выбирают предварительно в соответствии с рекомендациями ГОСТ 9128 (см. табл. 26, 28, 29) и с учетом требований стандарта к величине остаточной пористости асфальтобетона для конкретного климатического региона. Так, в IV – V дорожно-климатических зонах допускается применение асфальтобетонов с более высокой остаточной пористостью, чем в I – III, поэтому содержание битума в асфальтобетонах для этих зон назначают ближе к нижним рекомендуемым пределам, а в I – III – ближе к верхним.

В лаборатории готовят три образца из асфальтобетонной смеси с предварительно выбранным количеством битума и определяют: среднюю плотность асфальтобетона [см. формулу (2)], среднюю [см. формулу (3)] и истинную плотность минеральной части [см. формулу (4)], пористость минеральной части [см. формулу (7)] и выбранную остаточную пористость асфальтобетона (см. выше). Рассчитывают требуемое содержание битума B (% массы сверх 100% минеральной части) по формуле

$$B = \frac{(V_{пор}^м - V_{пор}^о) \rho^б}{\rho_m^м}, \quad (59)$$

где $V_{пор}^м$ – пористость минеральной части, % объема; $V_{пор}^о$ – выбранная остаточная пористость, % объема; $\rho^б$ – истинная плотность битума, г/см³, $\rho^б = 1$ г/см³; $\rho_m^м$ – средняя плотность минеральной части, г/см³.

Рассчитав требуемое количество битума, вновь готовят смесь, формируют из нее три образца и определяют остаточную пористость асфальтобетона. Если остаточная пористость совпадает с выбранной, то рассчитанное количество битума принимается. Асфальтобетонную смесь подобранного состава готовят в лаборатории: крупнозернистую – 26 – 30 кг, мелкозернистую – 16 – 18 кг, песчаную – 6 – 8 кг. Из смеси изготавливают образцы и определяют соответствие их физико-механических свойств ГОСТ 9128.

Если асфальтобетон подобранного состава не отвечает требованиям стандарта по некоторым показателям, например по прочности при 50 °С, то рекомендуется увеличить (в допустимых пределах) содержание минерального порошка или применить более вязкий битум; при неудовлетворительных значениях прочности при 0 °С следует снизить содержание минерального порошка, уменьшить вязкость битума или ввести добавку полимера.

При недостаточной водостойкости асфальтобетона целесообразно увеличить содержание либо минерального порошка, либо битума; при этом остаточная пористость и пористость минерального остова должны оставаться в пределах, предусмотренных вышеупомянутым стандартом.

Для повышения водостойкости наиболее эффективны поверхностно-активные вещества и активированные минеральные порошки. При назначении содержания битума для холодных асфальтобетонных смесей дополнительно следует предусмотреть меры, чтобы смесь не слеживалась при хранении. Для этого после определения требуемого количества битума готовят образцы для испытания на слеживаемость. Если показатель слеживаемости превышает требования ГОСТ 9128, то содержание битума снижают на 0,5% и испытание повторяют. Уменьшать количество битума следует до получения удовлетворительных результатов по слеживаемости, однако при этом необходимо следить, чтобы величина остаточной пористости холодного асфальтобетона не превышала требований ГОСТ 9128.

После корректировки состава асфальтобетонной смеси следует вновь испытать подобранную смесь. Цель проектирования состава асфальтобетона считается достигнутой, если пористость минеральной части и остаточная пористость асфальтобетона находятся в требуемых пределах, а остальные показатели свойств асфальтобетона соответствуют требованиям ГОСТ 9128.

Контрольные вопросы

1. Какими способами осуществляется проектирование состава минеральной части асфальтобетона?
2. Какими способами определяется необходимое и достаточное количество битума в асфальтобетоне?
3. В чем заключается смысл метода расчета минеральной части асфальтобетона по предельным кривым плотных смесей?
4. Что такое коэффициент сбега?
5. Чем зерновые составы плотных смесей с непрерывной гранулометрией отличаются от зерновых составов с прерывистой гранулометрией?

8. РОЛЬ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ. МЕХАНОАКТИВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ

Минеральные порошки получают путем тонкого измельчения горных пород или твердых отходов промышленного производства. Большое количество требований (см. табл. 24) свидетельствует о важной роли минерального порошка в процессах формирования структуры и свойств асфальтобетона.

Производство минерального порошка является наиболее сложным технологическим процессом в приготовлении материалов для асфальтобетона. Для приготовления активированного минерального порошка в горную породу перед измельчением вводят активирующую смесь, состоящую из битума и поверхностно-активного вещества (ПАВ) или продукта, содержащего ПАВ. Кроме того, в качестве минеральных порошков используют порошковые отходы промышленности: пыль-уноса цементных заводов, золу-уноса и золошлаковые смеси ТЭС, отходы асбошиферного производства, ферропыль, флотохвосты и другие порошкообразные отходы.

Порошковые отходы промышленности не должны содержать загрязняющих примесей (строительный мусор, грунт и пр.). Показатели свойств измельченных основных металлургических шлаков, золуноса и золошлаковых смесей, а также пыли-уноса цементных заводов должны отвечать требованиям ГОСТ 9128 (см. табл. 25), показав-

тели свойств других порошковых отходов – требованиям технических условий, утвержденных в установленном порядке.

Минеральный порошок, представляющий собой полидисперсный материал, является важнейшим структурообразующим компонентом асфальтобетона. На его долю приходится до 90 – 95% суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона. Основное назначение минерального порошка как наполнителя битума состоит в том, чтобы переводить объемный битум в пленочное состояние. В таком состоянии повышается вязкость и прочность битума. Вместе с битумом минеральный порошок образует структурированную дисперсную систему, которая и выполняет роль вяжущего материала в асфальтобетоне. Другое назначение минерального порошка – заполнение мелких пор между более крупными частицами. Таким образом, присутствие необходимого количества минерального порошка способствует повышению плотности минерального остова, а, следовательно, и повышению плотности асфальтобетона. В этом смысле недостаточное количество минерального порошка связано с необходимостью увеличения количества битума для заполнения пор.

Установлено, что при определенном соотношении «битум – минеральный порошок» достигается наивысшая прочность структурированной дисперсной системы, образуемой этими материалами. При определенной концентрации минерального порошка резко уменьшается толщина битумных слоев на поверхности минеральных частиц, что приводит к высокой степени структурирования битума, а следовательно, и к упрочнению контактов между зернами [9].

Большое влияние на свойства бинарных смесей (битум – минеральный порошок) и асфальтобетонов оказывает характер взаимодействия битума с поверхностью минеральных частиц. Важным элементом взаимодействия битума с пористыми минеральными материалами, в том числе и с пористыми минеральными порошками, является избирательная фильтрация битума [7]. В пористых материалах концентрируется значительное количество смол в поверхностных микропорах, а часть масел за счет избирательной диффузии проникает внутрь материала. Таким образом, при применении пористых материалов адсорбционные слои битума на поверхности частиц несколько обедняются смолами и маслами.

Необходимо учитывать, что для многих порошковых отходов промышленности характерна чрезмерно высокая степень измельчения

(удельная поверхность до 600 – 800 м²/кг), что обуславливает повышенную пористость таких порошков и увеличение содержания битума в асфальтобетонных смесях. Взаимодействие минерального порошка с битумом обуславливается физико-химическими процессами, происходящими на границе «битум – каменный материал», в силу которых на поверхности минеральных частиц образуется тонкая битумная пленка, не только обволакивающая их, но и прочно сцепленная с ними.

Связи, возникающие между битумом и поверхностью минеральных частиц, имеют первостепенное значение для свойств асфальтобетона, поэтому важнейшей характеристикой минерального порошка является его способность к прочному сцеплению с вяжущим.

На прочность сцепления с битумом оказывают влияние химический и минералогический составы минерального порошка, а также свойства битума. Лучшее сцепление с битумом дают карбонатные и основные горные породы. При этом предполагается, что в битуме содержится достаточное количество анионоактивных поверхностно-активных веществ (в частности, асфальтогеновых кислот), способных образовывать в зоне контакта битума с минеральными поверхностями водонерастворимые химические соединения, т.е. минеральные порошки должны быть способны к хемосорбционному взаимодействию с битумами. Поэтому в качестве исходных горных пород для приготовления минеральных порошков используют известняки, доломиты, доломитизированные известняки и другие карбонатные горные породы [7, 10].

Кислые горные породы (к ним относят породы, содержащие более 65% SiO₂) при взаимодействии с битумами не образуют хемосорбционных соединений. Вследствие этого адгезия битума к подобным минеральным зернам, особенно в присутствии воды, пониженная. Минеральный порошок, полученный из кислых горных пород, не оказывает на битум необходимого структурирующего влияния. В связи с этим асфальтобетон, получаемый на основе подобного порошка, обычно отличается пониженными показателями прочности, водо- и теплостойкости.

Важнейшей особенностью минерального порошка, обуславливающей его активную структурообразующую роль в асфальтобетоне, является высокоразвитая удельная поверхность. У обычно применяемых минеральных порошков удельная поверхность составляет от 250 до 500 м²/кг. Чем выше удельная поверхность (в названных пределах),

тем в большей степени проявляется структурирующее влияние на битум минерального порошка, а следовательно, и выше его роль в асфальтобетоне. Следует, однако, иметь в виду, что очень высокая дисперсность порошков (неактивированных) часто не реализуется в асфальтобетоне вследствие агрегирования наиболее мелких частиц. Более того, образующиеся агрегаты не только снижают эффективную удельную поверхность порошка, но снижают плотность и коррозионную устойчивость асфальтобетона. Поэтому чрезмерно тонкое измельчение неактивированных порошков нежелательно. Оптимальной можно считать дисперсность порошка, при которой его удельная поверхность составляет 400 – 500 м²/кг.

Удельную поверхность можно определить при помощи поверхностомера Гипроцемента (прибор ПСХ-2) или другими приборами. Вместо удельной поверхности часто определяют гранулометрический состав минерального порошка и особенно содержание в нем наиболее мелких частиц. В различных странах приняты различные фракции зерен минерального порошка, содержание которых нормируется. Так, например, во Франции к основной нормируемой фракции относятся зерна мельче 0,08 мм, в ФРГ – зерна мельче 0,09 мм, в Англии и США – зерна мельче 0,071 (или 0,074) мм.

В России, согласно ГОСТ Р 52129, принято, что в минеральном порошке должно содержаться частиц мельче 0,071 мм – не менее 70% в неактивированном и не менее 80% в активированном порошках. При этом все остальные зерна минерального порошка должны быть мельче 1,25 мм. По требованиям ГОСТ 32761 в активированном и в неактивированном минеральных порошках содержание частиц мельче 0,063 мм должно быть не менее 70%. При этом все остальные зерна минерального порошка должны быть мельче 2,0 мм.

Определение гранулометрического состава наиболее мелкой части порошка требует применения более тонких методов дисперсионного анализа. Кроме определения гранулометрического состава минерального порошка, распределение фракций в нем может быть охарактеризовано пористостью. У одноразмерных минеральных порошков или очень тонких пористость выше. Порошки с равномерным распределением частиц разного размера отличаются пониженной пористостью.

Пористость минерального порошка оказывает большое влияние на пористость всей минеральной части асфальтобетона, следовательно, и на битумоёмкость последнего. Согласно действующему ГОСТу,

пористость неактивированного порошка должна быть не более 35%, активированного – не более 30%.

Для приготовления минеральных порошков обычно применяют известняки средней прочности (до 50 – 60 МПа). Применение слишком прочных известняков ограничивается трудностью их размола. Порошки из малопрочных известняков характеризуются повышенной пористостью. Зерна таких порошков, обладающие высокой внутренней пористостью, избирательно фракционируют битум, что приводит к существенному изменению его свойств и повышению жесткости асфальтобетона. Действующим ГОСТом не нормируется прочность исходной горной породы. Основным нормируемым показателем карбонатных горных пород, предназначенных для производства минеральных порошков, является содержание в них глинистых примесей, которых должно быть не более 1,7%. Большее содержание глинистых примесей (до 7%) допускается при производстве активированных порошков, для которых в этом случае применяются специальные активирующие вещества.

В результате работ по улучшению качества минеральных порошков была предложена их гидрофобизация. Известно несколько способов гидрофобизации минеральных порошков. Первоначально гидрофобизацию минеральных порошков осуществляли в асфальтосмесителе. Был разработан способ обработки порошка гидрофобизатором путем его адсорбции из газовой фазы. Технология, разработанная в СоюздорНИИ под руководством Л. Б. Гезенцева [7], предполагает гидрофобизацию минеральных порошков в процессе их приготовления, то есть обработку гидрофобизатором свежееобразованной минеральной поверхности при размоле исходного минерального материала в шаровых мельницах.

Взаимодействие битума со свежееобразованными минеральными поверхностями специфично, поскольку оно обусловлено механохимическими процессами и включает эти процессы наряду с упоминавшимися выше хемосорбционными.

Другой взгляд на проблему минеральных порошков заключается в том, что одним из главных преимуществ минерального порошка, полученного из материалов, состоящих в основном из кремнезема, является минимальное содержание набухающих глинистых примесей и почти полное отсутствие щелочеобразующих окислов. Поэтому в настоящее время интенсивно развивается механохимический способ повышения качества минеральных порошков.

Механохимия охватывает широкий круг явлений, возникающих при механических воздействиях на различные вещества. Особый интерес, проявленный рядом исследователей к механохимии, связан с возможностью возбуждать в известных условиях химические процессы при механических воздействиях. В этой связи механохимия имеет исключительно большие перспективы для процессов, связанных с механической переработкой различных материалов. Некоторые химические реакции протекают более эффективно или вообще могут быть осуществимы только в условиях механических воздействий.

Практика применения кислых природных зернистых материалов для получения минеральных порошков показывает, что для улучшения их свойств наиболее эффективным методом является интенсивное измельчение [27]. Кроме того, многочисленными исследованиями доказано, что в результате измельчения хрупких минеральных материалов происходит их активация (увеличение свободной энергии за счет прироста поверхностной энергии, а также вследствие развития деформаций и искажения кристаллической решетки, а также частичной аморфизации). Величина активации зависит от способа измельчения и достигаемой степени дисперсности материала.

Активацию твёрдых тел механическими силами принято представлять как многоступенчатый процесс, на каждой ступени которого меняются характер изменения энергетических параметров вещества и количество аккумулированной энергии. С точки зрения энергозатрат для многотоннажного производства, каковым является производство минерального порошка, предпочтительнее всего третья ступень активации. При этом выбор механоактиватора необходимо производить из условия, чтобы в процессе помола материал получал определенную энергию активации с минимальной энтропией. К таким аппаратам относятся планетарные, струйные мельницы и дезинтегратор. Для условий дорожного строительства наиболее пригоден дезинтегратор, как наиболее производительный и менее энергоёмкий [10].

В ходе механической активации кварца на воздухе его удельная поверхность сначала увеличивается, а затем, достигнув максимального значения, незначительно уменьшается. При этом поверхность частиц кварца аморфизуется. За счет образования аморфного слоя понижается плотность вещества, увеличивается его реакционная способность. При этом основным каналом образования химически активных состояний на поверхности кварца является гомолитический раз-

рыв связи. В результате на поверхности кварца в вакууме может стабилизироваться до 10^{17} м^{-2} свободных радикалов $\equiv\text{Si}^*$ и $\equiv\text{SiO}^*$.

В меньшем количестве на поверхности активированного кварца могут стабилизироваться непарамагнитные дефекты, так называемые силиленовые центры – двухкоординированные атомы кремния $=\text{Si}$. Активными в химическом отношении являются также образующиеся в результате механических воздействий деформированные связи Si-O-Si , сходные по своим химическим свойствам с радикальными парами $\equiv\text{Si}^*-\text{OSi}\equiv$. Количество таких связей может существенно превышать количество парамагнитных центров и достигать величин $1,5 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-2}$.

Возникновение в процессе механической активации в значительных количествах указанных центров обуславливает высокую реакционную способность поверхности кварца по отношению к органическим вяжущим веществам.

Во многих дорожных организациях Российской Федерации были на практике апробированы полученные результаты. Один из примеров применения дезинтеграторной технологии получения минерального порошка применительно к смесителю ДС-117-2Е приведён на рис. 20.

Производственные испытания результатов исследований во многих хозяйствах дорожной отрасли показали более высокую эффективность предлагаемого способа получения минеральных порошков по сравнению с существующими. Так, если принять стоимость привозного минерального порошка за 100%, то стоимость помола минерального порошка в шаровой мельнице составит 80 – 85%, а стоимость помола в установке УИС-2У – 50 – 60% от стоимости привозного минерального порошка.

Цель физико-химической гидрофобизации минеральных порошков состоит в стремлении устранить или уменьшить влияние ряда отрицательных факторов, присущих минеральным порошкам. Осуществляется эта цель сближением молекулярных свойств поверхности порошка и среды, в которую он должен быть помещен.

Поскольку в асфальтобетоне минеральный порошок находится в среде битума, для гидрофобизации чаще всего и применяют смесь, включающую битум. Применение в составе гидрофобизатора поверхностно-активных веществ улучшает условия смачивания поверхности частиц порошка битумом, способствует образованию водоустойчивых хемосорбционных связей на границе раздела «битум – минеральный

материал», способствует процессу измельчения каменных материалов при их размоле. Кроме этого, структурно-механический барьер, состоящий из тонкого слоя высокоструктурированного битума, оказывает экранирующее действие, снижает или препятствует избирательной фильтрации компонентов битума в поры минеральных зерен.

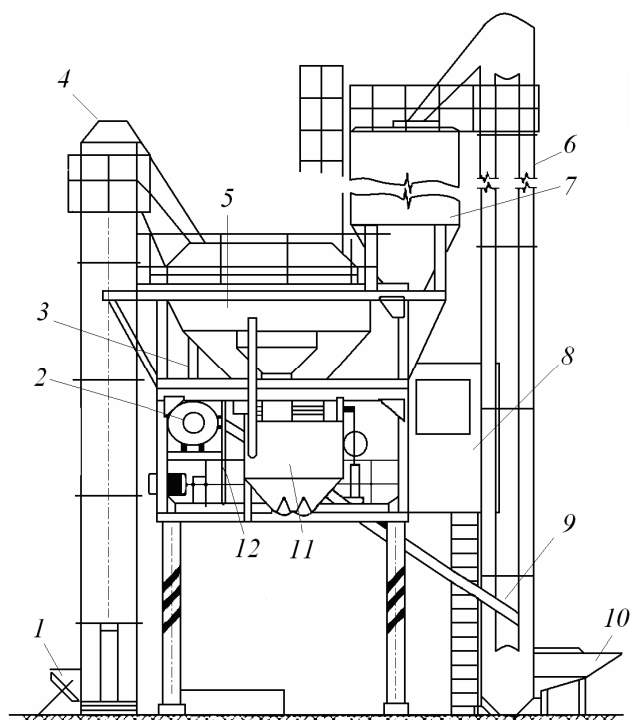


Рис.20. Пример компоновки измельчителя УИС-2У в технологическую схему смесителя ДС-117-2 Е:

1 – приемный лоток горячего элеватора; 2 – дезинтегратор (УИС-2У); 3 – патрубок подачи песка в дезинтегратор; 4 – элеватор горячих материалов; 5 – горячие бункеры; 6 – элеватор минерального порошка; 7 – агрегат минерального порошка; 8 – кабина управления; 9 – труба; 10 – приемный лоток для минерального порошка; 11 – бункер для негабаритного материала (щебня); 12 – дополнительные стойки для крепления дезинтегратора

Это позволяет замедлить старение асфальтобетона. Структурно-механический барьер придает поверхности зерен гидрофобные свойства, благодаря чему предотвращает проникание влаги в минеральные зерна. Это позволяет использовать для получения минерального порошка более широкий круг материалов. Кроме этого, физико-химическая активация позволяет использовать для производства активированного минерального порошка промышленные отходы и материалы, применение которых в чистом виде невозможно или затруднительно из-за их физико-химических особенностей. Такие материалы, как правило, являются полиминеральными, и активирующая смесь должна содержать ПАВ как кислого, так и основного характера.

Особенно актуальна данная проблема в последние годы, когда резко возросла стоимость транспортных перевозок и необходимо найти достаточно эффективные заменители привозных минеральных порошков из карбонатных горных пород.

Известно, что наибольший эффект от физико-химической активации достигается в процессе помола, то есть в момент образования свежих высокоактивных поверхностей, обуславливающих повышение реакционной способности тонко размолотого материала. Причем активирующая смесь взаимодействует не со всей поверхностью минерального материала, а только с ее активными центрами (анкерными точками), которые находятся в узлах кристаллической решетки минерального материала. Количество активных центров на поверхности минерального материала ограничено и зависит от времени и параметров помола. Кроме этого, в процессе помола происходит постоянная деструкция активирующей смеси на минеральной поверхности. Все это приводит к тому, что необходимо в каждом конкретном случае проводить лабораторный подбор состава активирующей смеси, устанавливать ее дозировку с учетом технологических особенностей помольного оборудования и свойств получаемого минерального порошка, отслеживать факторы, влияющие на повышение производительности данного оборудования.

Высокое качество активированных, минеральных порошков обеспечивает возможность приготовления асфальтобетонов с повышенной плотностью, прочностью, водо- и морозостойкостью, а в некоторых случаях – с повышенной сдвигоустойчивостью и трещиностойкостью.

Холодные асфальтобетонные смеси на активированном минеральном порошке не слеживаются при хранении, покрытия из таких смесей формируются быстрее под движением автомобилей. Расход битума для приготовления таких смесей на 10 – 20% меньше, чем смесей на неактивированном порошке. Применение активированных минеральных порошков позволяет получить асфальтобетоны с наибольшим количеством замкнутых пор, что обуславливает более низкое водонасыщение при заданной остаточной пористости покрытия.

Контрольные вопросы

1. Как получают неактивированный минеральный порошок?
2. Как получают активированный минеральный порошок?
3. Из каких компонентов состоит активирующая смесь и какую роль она выполняет?
4. Какие функции выполняет минеральный порошок в асфальтобетоне?

5. Какие механизмы используют для получения минеральных порошков?

9. СВОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВЯЖУЩИХ

9.1. Полимерные модифицирующие добавки к битумам

Модифицированными называют битумы, улучшенные добавками определенных веществ (полимеров, серы, резины, поверхностно-активных веществ и др.).

Битумы, модифицированные полимерами, называют полимерно-битумными вяжущими (ПБВ) [21, 28, 29].

Широкое внедрение ПБВ в практике дорожного строительства России началось с приказа Федерального дорожного департамента № 9 от 30.01.1995 г. об использовании модифицированных битумов в верхних слоях покрытий на дорогах высоких категорий. Причина принятия такого решения – несоответствие основных свойств большинства отечественных битумов усложнившимся условиям эксплуатации автомобильных дорог.

Основная цель введения полимера в битум – понижение температурной чувствительности вяжущего, т.е. увеличение его жесткости летом и уменьшение зимой, а также придание вяжущему эластичности – способности к обратимым деформациям во всем диапазоне эксплуатационных температур. Если эта цель достигнута, то дорожно-строительный материал с применением ПБВ обладает повышенной сдвигоустойчивостью, низкотемпературной трещиностойкостью и усталостной долговечностью.

Среди термоэластичных полимеров, используемых для модификации битума, ведущая роль принадлежит термопластам, эластомерам и термоэластопластам [5, 28, 29, 30, 31].

Термопласты модифицируют битум, создавая в нем жесткую пространственную сетку, сопротивляющуюся деформированию. К ним относятся атактический полипропилен (АПП), этиленвинилацетат (ЕВА) – полукристаллический сополимер, применяемый за рубежом в течение 25 лет, Элвалой АМ, Вископласт - S и др. Непрерывная пространственная сетка термопласта образуется при его содержании в вяжущем около 6%. Термопласты повышают когезию, теплостойкость, эластичность, адгезионные свойства, снижают хрупкость вя-

жущего при отрицательных температурах. Большинство термопластов хорошо растворяются в битуме при температуре 150 – 170 °С.

Эластомеры обладают ярко выраженными упругими свойствами и как модификаторы битума придают ему способность к обратимому деформированию. К ним относятся натуральный и синтетический каучуки (бутадиенстирольные, изопреновые, полиизобутилен и др.), «Каудест-Д». Добавки эластомеров вводят в битумы в количестве 2 – 7% преимущественно в виде растворов в углеводородных растворителях или маслах. Синтетические каучуки увеличивают растяжимость и эластичность, повышают тепло- и трещиностойкость, пластичность при низких температурах и устойчивость битума к старению.

Термоэластопласты (блоксополимеры бутадиена и стирола типа СБС) – это гранулированные в виде порошка или крошки аморфные полимеры линейного или разветвленного строения. К ним относятся дивинилстирольные термоэластопласты ДСТ-30-01, Кратон 1101, Солпрен 411 и др.

Полимеры типа СБС сочетают в себе высокую прочность, присущую пластмассам, и высокую эластичность, характерную для эластомеров, обладают способностью к высокоэластическим деформациям в интервале температур от +80 до –80 °С.

Свойства этих сополимеров регулируются за счет изменения соотношения между бутадиеновой и стирольной составляющей. Полимеры СБС обеспечивают физическую модификацию битумов. Объединение полимера (2,5 – 6%) или его раствора в пластификаторе с битумом приводит к получению ПБВ с развитой пространственной структурной сеткой из полимера. В узлах структурной сетки располагаются блоки полистирола, а гибкие эластичные связи обеспечивает полибутадиен.

По сравнению с битумом ПБВ характеризуется повышенными показателями эластичности и прочности в широком интервале температур, тепло- и трещиностойкости.

Полимерно-битумные вяжущие с использованием термоэластопластов получили наибольшее практическое применение за рубежом и в России. К настоящему времени в нашей стране освоена технология приготовления ПБВ на основе блоксополимеров типа СБС, «Каудест-Д», атактического полипропилена (АПП), растворов каучука типа СКС для устройства полимерасфальтобетонных покрытий на федеральных дорогах I и II категорий.

Преимущества полимеров СБС по сравнению с полимерами других классов заключаются в следующем [28]:

1. Полимеры типа СБС создают пространственную эластичную структурную сетку в битуме при их минимальном содержании по сравнению с полимерами других классов, так как характеризуются способностью к специфическим взаимодействиям. Блоки полистирола трехблочных макромолекул СБС, расположенные по краям, ассоциируют друг с другом и образуют объемы стеклообразного полистирола, с которым химически связан окружающий их эластомер – полибутадиен. Сшивание полимерных цепей химическими связями создает пространственную сетчатую структуру. Образующиеся связи достаточно прочные. Полимер СБС по прочности на растяжение (более 20 МПа) приближается к чистому полистиролу. Поэтому пространственная сетка, образующаяся в битуме, тоже обладает высокой прочностью и придает ПБВ высокую теплостойкость.

2. Полимеры СБС хорошо совмещаются с битумами, так как имеют относительно невысокую молекулярную массу: 80 000 – 100 000. Кроме того, полистирол и полибутадиен хорошо растворяются в углеводородах дисперсионной среды битумов и при температурах выше 100 °С представляют собой линейные полимеры.

3. Сочетают в себе высокую прочность, присущую пластмассам, и высокую эластичность, очень низкую температуру стеклования (от –80 до –100 °С), характерную для эластомеров. Характеризуются развитой трехмерной структурой до температуры 80 – 90 °С за счет физических связей между макромолекулами по блокам полистирола.

Для приготовления ПБВ рекомендуются полимеры [21, 28, 29, 32]: блоксополимеры бутадиена и стирола типа СБС (в виде порошка или крошки) марки ДСТ-30-01 1-й группы по ТУ 38.403267–99, марки ДСТ-30Р-01 1-й группы по ТУ 38.40327–98 с изм. №1 (ОАО «Воронежсинтезкаучук»), Enprene 701 и Enprene 611 российской фирмы «Эн Чуан Кэмикэл», а также их зарубежные аналоги марок Финапрен 502 или Финапрен 411 фирмы «Петрофина», Кратон Д 1101, Кратон Д 1184, Кратон Д 1186 фирмы «Шелл», Европрен Сол Т-161 фирмы «Эникем», Калпрен 411 фирмы «Репсол».

Полимеры ДСТ-30Р-01 и ДСТ-30-01 выпускаются в промышленных масштабах в виде крошки размером 1,5 – 3 мм. Блоксополимеры Enprene 701 и Enprene 611 выпускаются в виде мягкой непластифицированной крошки или дробленых гранул размером менее 1,25 мм.

Полимерно-битумные вяжущие готовят на основе вязких дорожных битумов введением полимера СБС (2,5 – 6%) или его раствора в пластификаторе при температуре 150 – 160 °С в смесителях различного типа (коллоидных мельницах, гидродинамических смесителях, лопастных мешалках). В качестве пластификаторов используют индустриальные масла марок И-20А, И-30А, И-40А, И-50А, экстракты селективной очистки масляных фракций, сырье для производства битумов и другие нефтепродукты.

Полимерно-битумное вяжущее (ПБВ) на основе СБС отличается от битума наличием пространственной эластичной структурной сетки из макромолекул полимера, которая как бы армирует его, придавая ему высокую прочность и одновременно эластичность (способность к большим обратимым деформациям). Это обеспечивает возможность повысить деформационную устойчивость асфальтобетона в широком диапазоне эксплуатационных температур, существенно повысить долговечность покрытий, особенно в условиях с резко континентальным климатом, на объектах с высоким уровнем воздействия транспортных нагрузок.

Полимерно-битумные вяжущие на основе Enprene 701 по сравнению с использованием ДСТ-30Р-01 характеризуются более высокой теплостойкостью, трещиностойкостью и растяжимостью, особенно при 0 °С, меньшей склонностью к старению.

Следует отметить, что и ранее, и в настоящее время ведутся работы по исследованию эффективности применения различных полимеров в составе ПБВ. К настоящему времени не удалось подобрать композиции, равные или близкие по техническим свойствам к ПБВ на основе СБС.

Как в России, так и за рубежом полимеры класса СБС являются основным исходным полимером для получения ПБВ. Объем применения других полимеров для этих целей значительно ниже.

В 2013 г. «Газпромнефть» и французская нефтяная компания Total создали совместное предприятие по производству ПБВ под брендом G-Way Styrelf. Модификация битума происходит в результате химической «сшивки» полимера СБС с использованием запатентованного компанией Total реагента PAXL. Реагент способствует образованию дополнительных химических связей на молекулярном уровне, благодаря чему ПБВ приобретает устойчивость к расслаиванию.

Вяжущие выпускают на Московском НПЗ по СТО 11352320-001.01.2014 следующих марок: ПБВ G-Way Styrelf 60 Стан-

дарт; ПБВ G-Way Styrelf 90 Стандарт; ПБВ G-Way Styrelf 60 Премиум; ПБВ G-Way Styrelf 90 Премиум.

Российская компания «Рубитрон Трэйд» выпускает ПБВ следующих марок: Рубитрон 40, Рубитрон 60, Рубитрон 90, Рубитрон Магистраль, Рубитрон Техно, Рубитрон Инжиниринг. ПБВ любой марки может быть произведено под конкретные требования клиентов.

Рубитрон Магистраль – ПБВ для дорог с интенсивными нагрузками, транспортных магистралей, гоночных трасс. Рубитрон Магистраль обеспечивает высокую стойкость к колееобразованию и усталостному трещинообразованию, повышает прочность и стойкость к деформациям асфальтобетонных покрытий.

Рубитрон Техно – ПБВ для аэродромного, портового строительства увеличивает сдвигоустойчивость, ударную прочность, повышает стойкость асфальтобетонных покрытий к противогололедным реагентам.

Рубитрон Инжиниринг – ПБВ для инженерных сооружений, мостов, тоннелей, эстакад. Важной задачей при строительстве таких сооружений является защита конструкции от разрушений вследствие интенсивного воздействия воды и необходимость в особом сцеплении слоев между элементами конструкции покрытий. Рубитрон Инжиниринг обладает повышенной адгезией, стойкостью к старению и не подвержен расслоению, а также выполняет антикоррозийную защиту конструкции.

ФГУП СоюздорНИИ подготовлены нормативно-технические документы, обеспечивающие широкое внедрение ПБВ на основе СБС в России [21,29, 32].

На основе практического опыта и результатов испытаний дорожных битумов, модифицированных различными добавками, рекомендовано применять следующие полимеры:

- блоксополимеры бутадиена и стирола типа СБС, предназначенные для получения полимерно-битумного вяжущего марок ПБВ в соответствии с ГОСТ Р 52056–2003;

- «Каудест-Д (улучшенный)» – система полимеров типа синтетических бутадиен-альфаметилстирольных каучуков (СКМС), предназначенные для получения вяжущих в соответствии с ТУ 5718-011-01393728–96 «Вяжущие полимерно-битумные на основе «Каудест-Д» и полимерасфальтобетон»;

– растворы синтетических каучуков стирольных типа СКС, предназначенные для приготовления битумно-каучуковых вяжущих марок БКВ в соответствии с ТУ 5718-004-03443057–98.

9.2. Свойства полимерно-битумных вяжущих на основе ДСТ

Полимерно-битумные вяжущие являются трехкомпонентными системами, поэтому изменение содержания и качества компонентов приводит к изменению свойств ПБВ. В лаборатории органических вяжущих СоюздорНИИ изучено влияние марки исходного битума, типа его структуры, содержания полимера и пластификатора на изменение технологических и эксплуатационных свойств ПБВ [28].

Для приготовления ПБВ были взяты битумы марок БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 40/60 Московского НПЗ, полимер ДСТ-30 Р-01 АО «Воронежсинтезкаучук», пластификатор – индустриальное масло марки И-40А Кстовского НПЗ.

На рис. 21 – 23 приведены зависимости основных эксплуатационных и технологических свойств ПБВ, приготовленных на битуме БНД 60/90, от содержания пластификатора и полимера.

Анализ приведенных данных показывает, что уже при содержании ДСТ в битуме в количестве 3% образуется пространственная структурная сетка. Образование пространственной структурной сетки прослеживается по характерным перегибам (изменение наклона) концентрационных зависимостей показателей свойств ПБВ. Специфика образующейся новой структуры проявляется в повышении пластичности при низких температурах (рис. 21, б), понижении растяжимости при 25 °С (рис. 22, а), повышении эластичности (рис. 23, в, г).

При содержании полимера 3,5% и пластификатора 10% получено ПБВ, которое имеет следующие свойства: глубина проникания иглы при 25 °С равна 100·0,1 мм, при 0 °С – 59·0,1 мм, растяжимость при 25 °С составляет 41 см, при 0 °С – 45 см, температура размягчения 61 °С, температура хрупкости –25 °С, температурный интервал работоспособности равен 86 °С, эластичность при 25 и 0 °С составляет соответственно 87 и 88%.

Характер зависимостей изменения свойств ПБВ от содержания полимера и пластификатора, приготовленных на битумах марок БНД 40/60, БНД 60/90 и БНД 90/130, аналогичен. Различия заключаются лишь в абсолютных значениях показателей свойств.

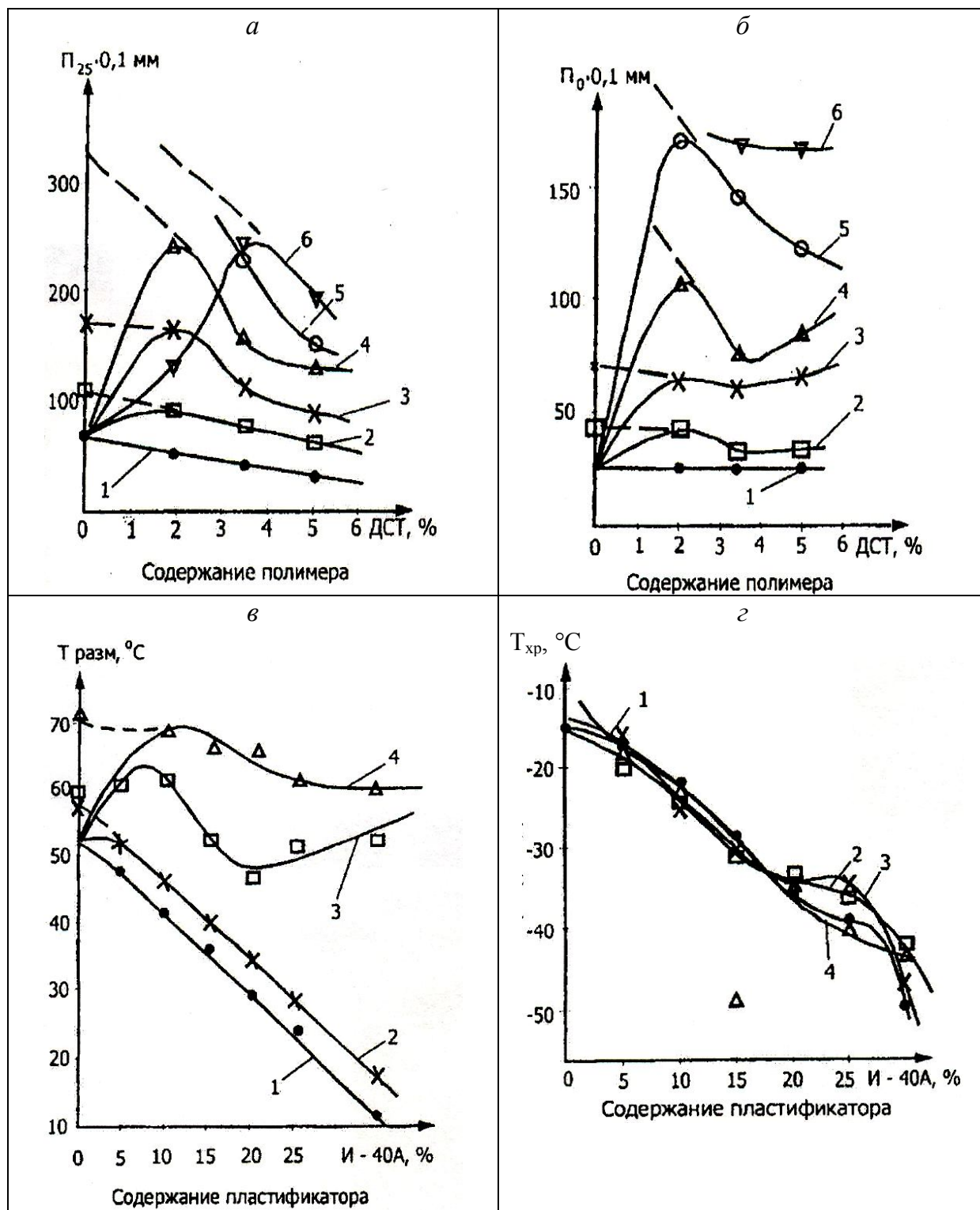


Рис. 21 Зависимость глубины проникания иглы (*a*, *б*), температуры размягчения (*в*) и температуры хрупкости (*г*) от содержания полимера и пластификатора. Цифры на кривых (*a*, *б*) – содержание пластификатора И-40А: 1 – 0%; 2 – 5%; 3 – 10%; 4 – 15%; 5 – 20%; 6 – 25%. Цифры на кривых (*в*, *г*) – содержание полимера ДСТ: 1 – 0%; 2 – 2%; 3 – 3,5%; 4 – 5%

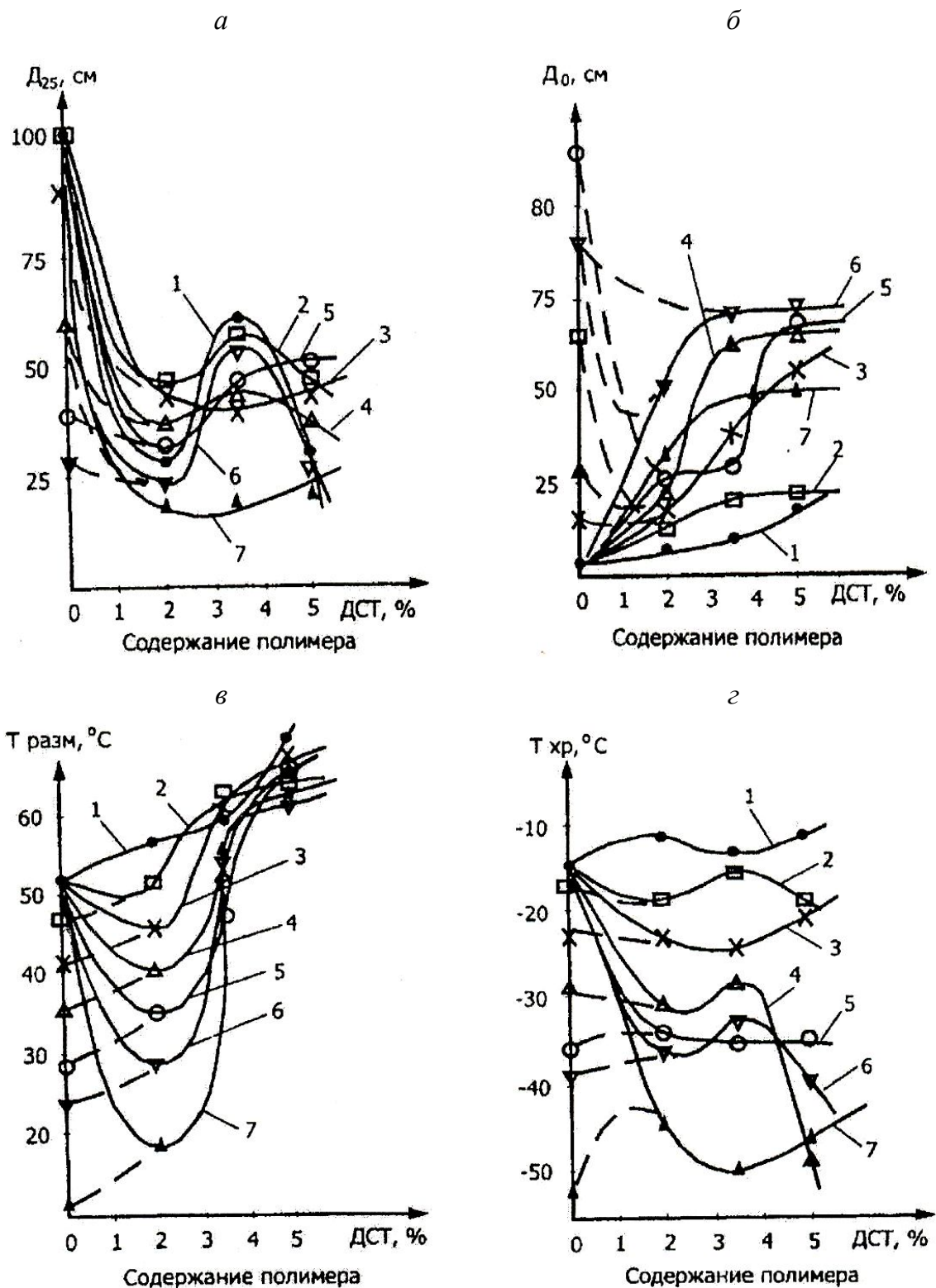


Рис 22. Зависимость растяжимости (*a*, *б*), температуры размягчения (*в*) и температуры хрупкости (*г*) ПБВ от содержания ДСТ и пластификатора И-40А: 1 – 0%; 2 – 5%; 3 – 10%; 4 – 15%; 5 – 20%; 6 – 25%; 7 – 35%

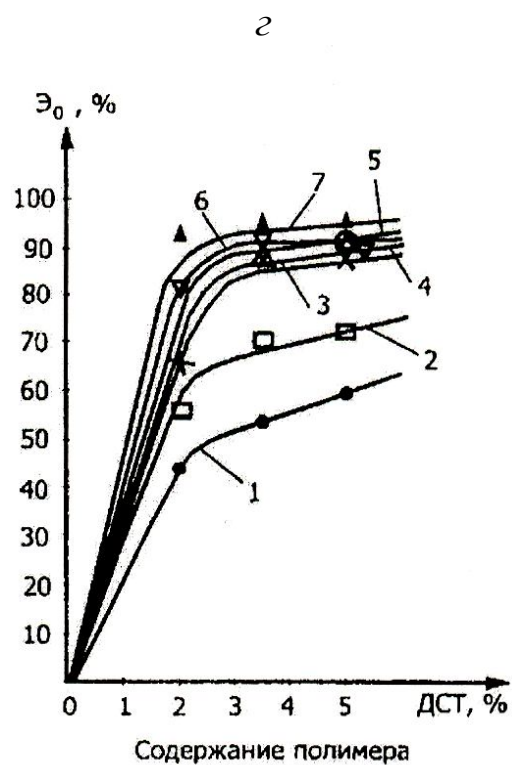
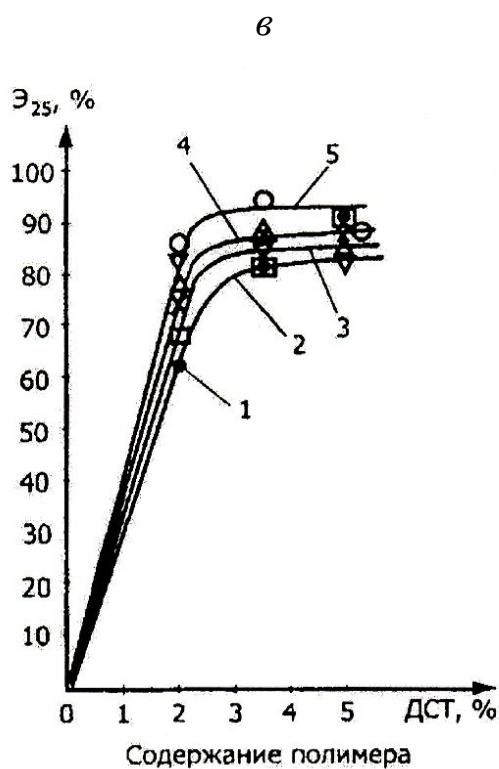
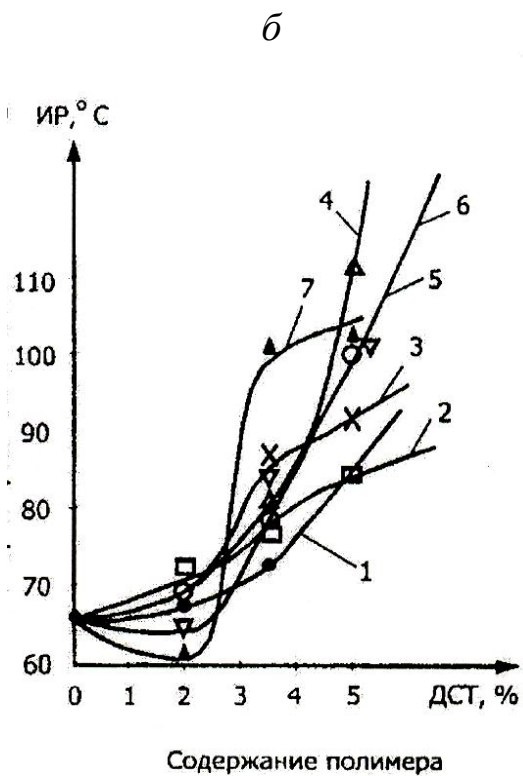
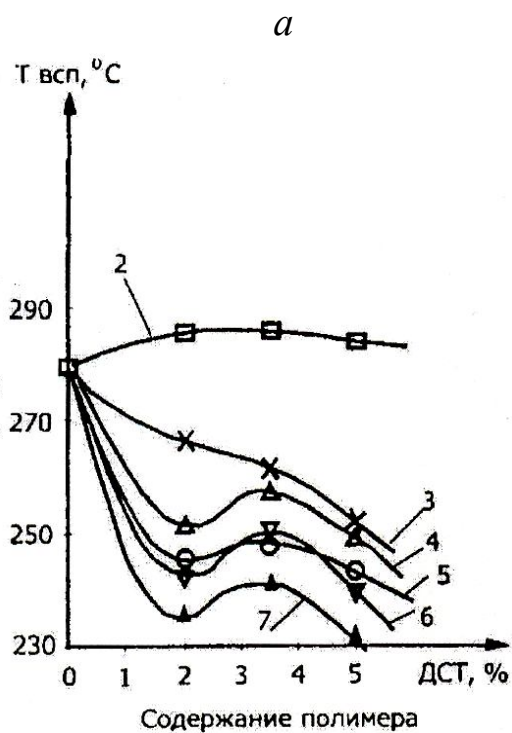


Рис. 23. Зависимость температуры вспышки (*a*), интервала работоспособности (*б*) и эластичности (*в, г*) ПВВ от содержания полимера ДСТ и пластификатора И-40А: 1 – 0%; 2 – 5%; 3 – 10%; 4 – 15%; 5 – 20%; 6 – 25%; 7 – 35%

На свойства ПБВ значительное влияние оказывает структурный тип битума. Степень структурированности ПБВ повышается с увеличением степени структурированности исходного битума, причем наиболее заметно при переходе от исходных битумов II типа (марки БН) к III типу (марки БНД) и при больших содержаниях полимера.

В связи с тем, что ПБВ содержит три компонента, различающихся по плотности, они склонны к расслоению в условиях выдерживания при высоких температурах. Изменение свойств битума и ПБВ различных составов было изучено в процессе расслоения и старения при 160 °С в течение 5, 8, 24 и 72 ч. Испытания показали, что за счет расслоения показатели свойств изменяются значительно сильнее, чем при старении. Устойчивость к старению ПБВ с пластификатором практически не отличается от битумов, а устойчивость к расслоению по некоторым показателям выше. В связи с этим рекомендовано перемешивание ПБВ с периодичностью 2 – 3 ч в процессе хранения при рабочих температурах.

Изучение влияния физико-механических свойств ПБВ различных марок на свойства полимерасфальтобетонов разных типов структуры показало, что по сравнению с асфальтобетонами на битумах полимерасфальтобетоны характеризуются меньшей чувствительностью к изменению температуры, повышенной динамической устойчивостью, сдвигоустойчивостью и деформативностью при низких температурах, более высокой морозостойкостью и устойчивостью к старению [28].

В СибАДИ разработаны составы и технология приготовления ПБВ в тригональной смесительной установке [31] применительно к суровым климатическим условиям г. Нефтеюганска (абсолютный минимум температуры –50 °С, температура наиболее холодных суток –47 °С). При подборе составов ПБВ температуры хрупкости и размягчения должны соответствовать климатическим условиям эксплуатации полимерасфальтобетонных покрытий [11, 29, 32].

Требуемую температуру хрупкости ПБВ рассчитывают в зависимости от заданной температуры трещиностойкости полимерасфальтобетона, которая приведена в ГОСТ 9128 (прил. И), по формуле

$$T_{mp} = 0,8696T_{xp}^{\Phi} - 0,0818 , \quad (60)$$

где $T_{тр}$ – температура трещиностойкости полимерасфальтобетона, °С; $T_{хр}^{\Phi}$ – температура хрупкости ПБВ по Фраасу, °С.

Температура размягчения ПБВ должна соответствовать расчетной температуре сдвигоустойчивости полимерасфальтобетонных покрытий. Ее определяют по ГОСТ 9128 в соответствии с табл. И.1 (прил. И) или рассчитывают по следующей формуле:

$$T_p = 0,9967 T_m + 35,354, \quad (61)$$

где T_p – температура размягчения, °С; T_m – температура воздуха наиболее тёплого месяца, °С.

При рекомендуемой для г. Нефтеюганска температуре трещиностойкости полимерасфальтобетонного покрытия на дорогах I, II технических категорий, равной –47 °С, температура хрупкости ПБВ должна составлять –54 °С, а температура размягчения 58 °С.

Полимерно-битумное вяжущее готовили в лабораторном смесителе с регулируемой системой обогрева и перемешивающим устройством – пропеллерной мешалкой. Температура приготовления ПБВ составляла 150 – 160 °С, продолжительность смешения компонентов – 3 ч. Для получения ПБВ использовали битум II типа структуры марки БН 60/90 ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез», полимер ДСТ 30-01 ОАО «Воронежсинтезкаучук» и индустриальное масло марки И-40А ОАО «Новокуйбышевский НПЗ».

Содержание в вяжущих ДСТ составляло 2,5 – 4,5%, индустриального масла – 10 – 20% по массе. Были получены однородные полимерно-битумные вяжущие марок ПБВ 90, ПБВ 130, ПБВ 200. Как видно из приведенных в табл. 32 данных, ПБВ всех марок имеют низкие температуры хрупкости, высокие показатели пластичности и эластичности при 0 °С, достаточно высокую устойчивость к старению. При любом содержании ДСТ и И-40А важнейший показатель техники безопасности при производстве работ – температура вспышки – соответствует нормативным требованиям.

Полимерно-битумное вяжущее, содержащее 4,5% по массе ДСТ и 10% масла И-40А, соответствует марке ПБВ 90. Такое вяжущее имеет высокие показатели пластичности, эластичности, теплостойкости и низкотемпературной трещиностойкости. Полимерно-битумные вяжущие всех марок имеют хорошее сцепление с мрамором и удовлетворительное – с кварцевым песком.

Для получения ПБВ с температурами хрупкости -54°C необходимо увеличивать содержание пластификатора выше 20% и полимера более 5%. Высокое количество пластификатора вызывает неоднородность (расслаиваемость) ПБВ при хранении и эксплуатации в дорожной конструкции. При высоком содержании полимера увеличивается стоимость ПБВ, повышаются температуры приготовления ПБВ и смесей на его основе.

Таблица 32

Физико-механические свойства полимерно-битумных вяжущих на основе полимера ДСТ- 30-01

Показатель	Вяжущее			
	БН 60/90	БН 60/90 – 85,5%; ДСТ – 4,5%; И-40А – 10%	БН 60/90 – 82,5%; ДСТ – 2,5%; И-40А – 15%	БН 60/90 – 76,5%; ДСТ – 3,5%; И-40А – 20%
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при температуре:				
25 °С	75	98	190	213
0 °С	28	66	82	122
Температура размягчения, °С	45	68	47	56
Температура хрупкости, °С	-19	-32	-36	-37
Растяжимость, см, при температуре:				
25 °С	81	35	36	46
0 °С	7	18	39	48
Эластичность, %, при температуре:				
25 °С	-	95	89	90
0 °С	-	75	75	88
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	1	2	2	3
Температура вспышки, °С	256	242	238	235
Сцепление:	Выдерживает по контрольному образцу			
- с мрамором	№ 2	№ 2	№ 2	№ 2
- с песком	№ 3	№ 3	№ 3	№ 3
Однородность	Однородно			
Марка ПБВ	-	ПБВ 90	ПБВ 130	ПБВ 200

На основании полученных данных для практического использования были рекомендованы ПБВ, содержащие: 81,5 – 87% битума; 3,0 – 4,5% ДСТ; 10,0 – 15,0% по массе индустриального масла. Представленные на рис. 24 – 29 зависимости показателей свойств ПБВ от его состава позволяют:

- оценить структурные изменения, происходящие в ПБВ как при изменении ДСТ, так и пластификатора;
- судить о влиянии содержания ДСТ и пластификатора на свойства ПБВ и оценить вклад каждого из них;
- корректировать состав ПБВ на производстве в целях экономии ДСТ.

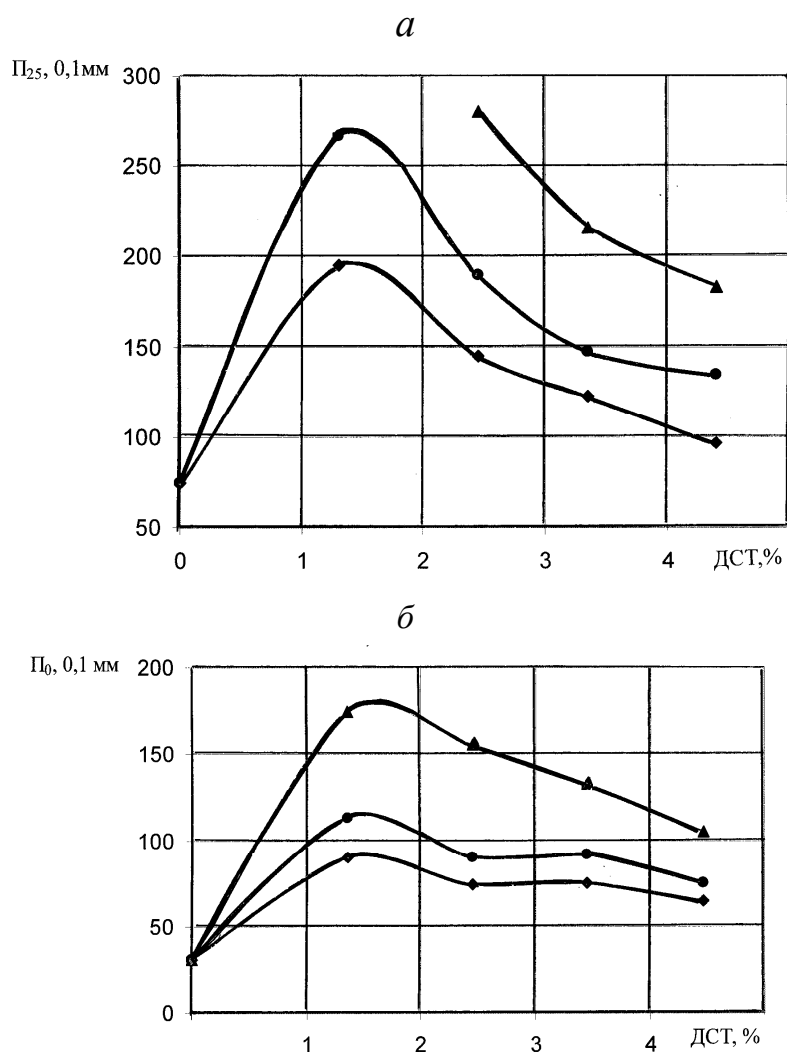


Рис. 24. Зависимость глубины проникания иглы при 25 °С (*a*) и 0 °С (*б*) от содержания ДСТ и пластификатора в ПБВ: ◆ – 10% И-40А; ● – 15% И-40А; ▲ – 20% И-40А

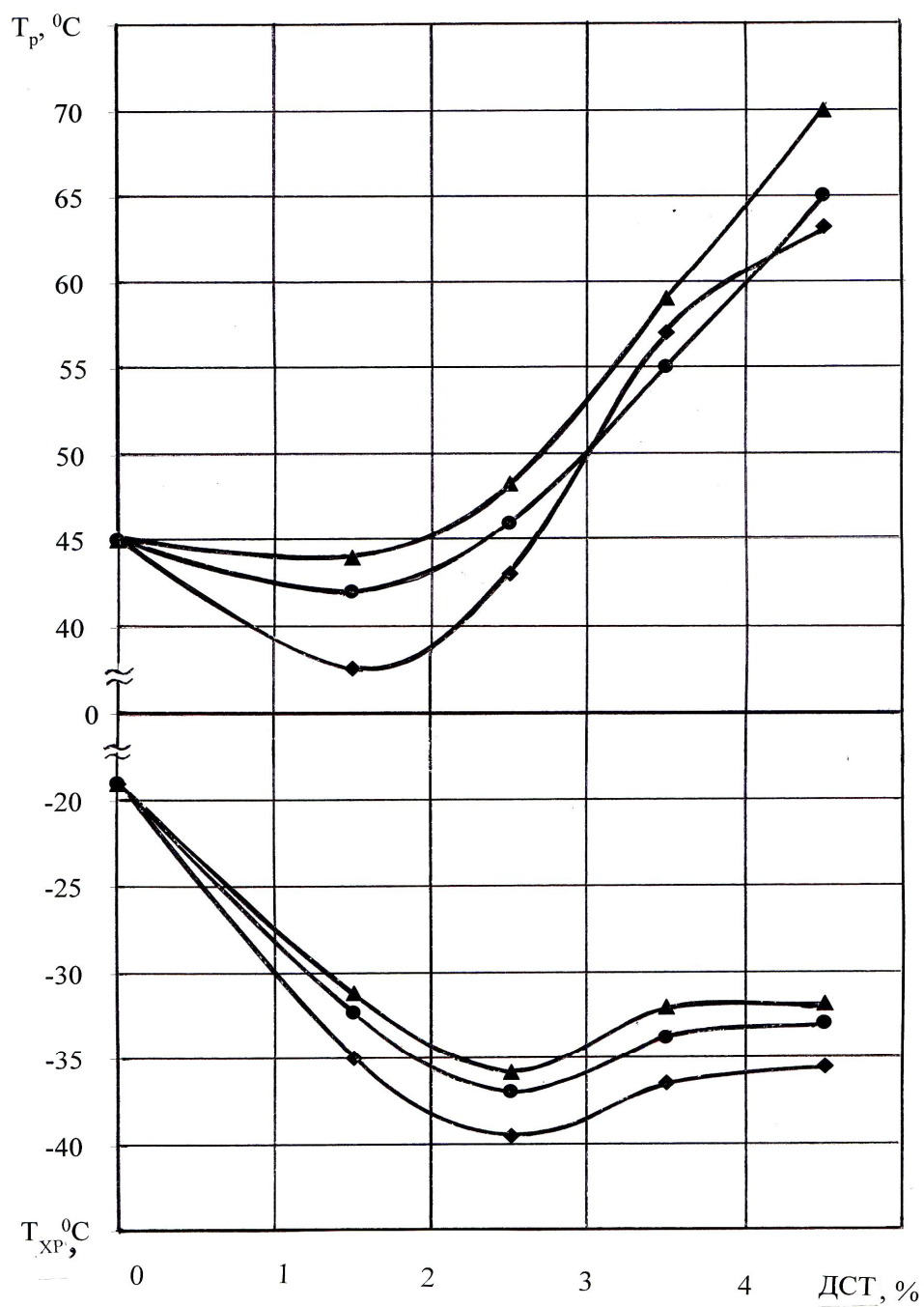


Рис. 25. Зависимость температуры размягчения и температуры хрупкости от содержания ДСТ и пластификатора в ПВХ:
 ▲ – 10% И-40А; ● – 15% И-40А; ◆ – 20% И-40А

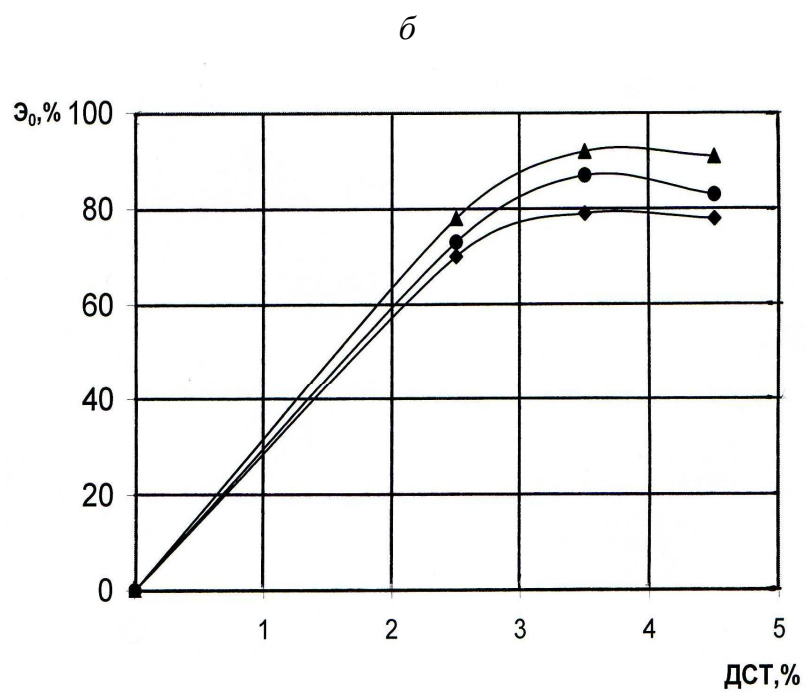
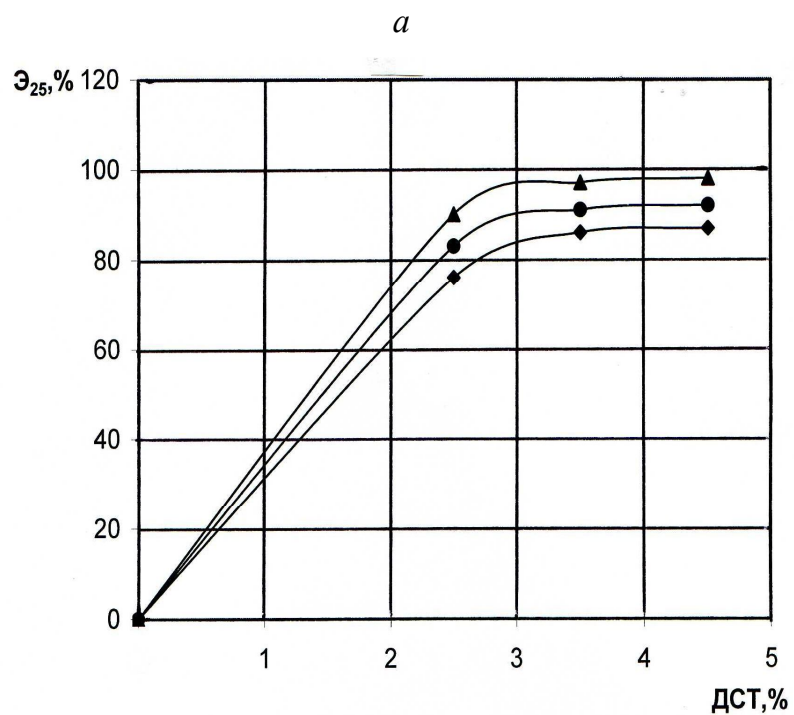


Рис. 26. Зависимость эластичности при 25 °С (*a*) и 0 °С (*б*) от содержания ДСТ и пластификатора в ПБВ:
♦ – 10% И-40А; • – 15% И-40А; ▲ – 20% И-40А

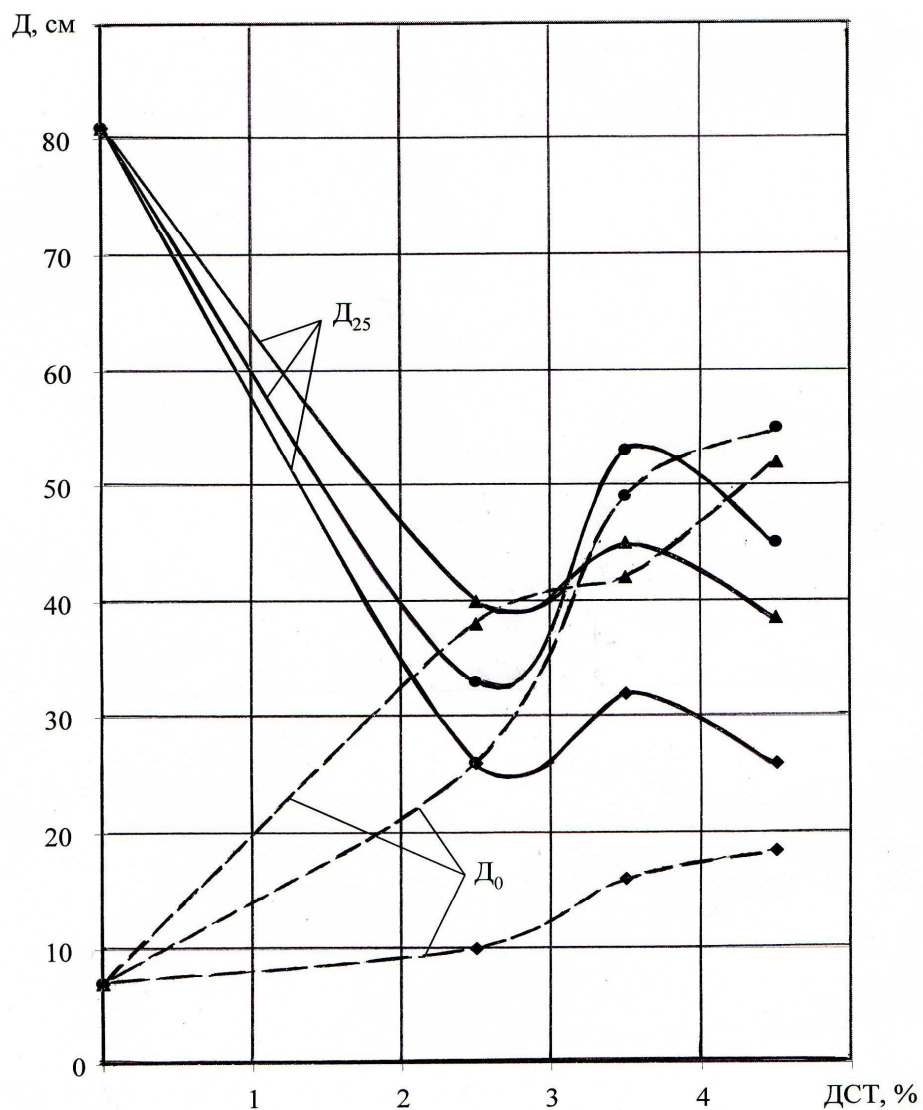


Рис. 27. Зависимость растяжимости при 25 и 0 °С от содержания ДСТ и пластификатора в ПБВ:
 ◆ – 10%; ● – 15%; ▲ – 20% И-40А

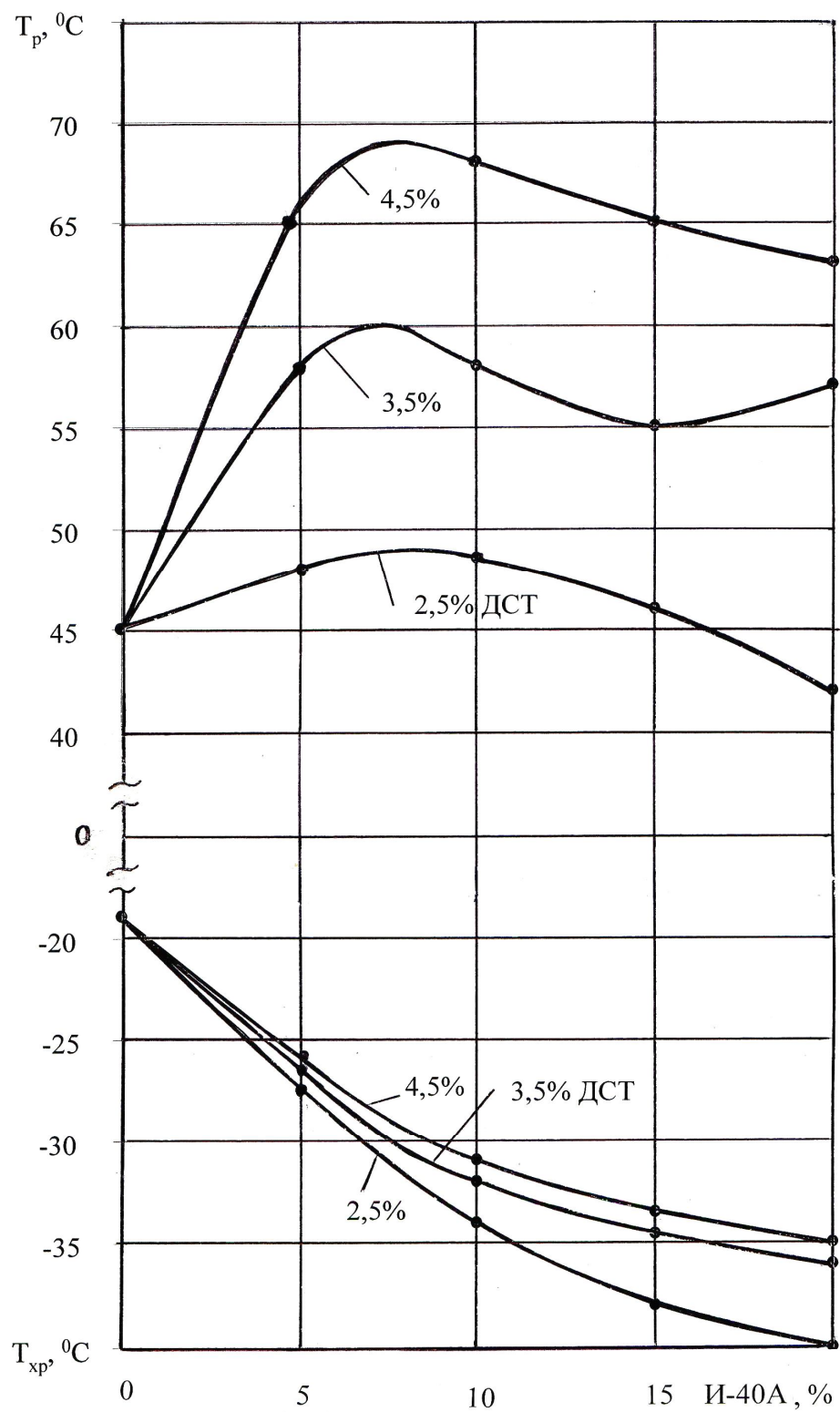


Рис. 28. Зависимость температуры размягчения и температуры хрупкости от содержания в ПБВ пластификатора и ДСТ

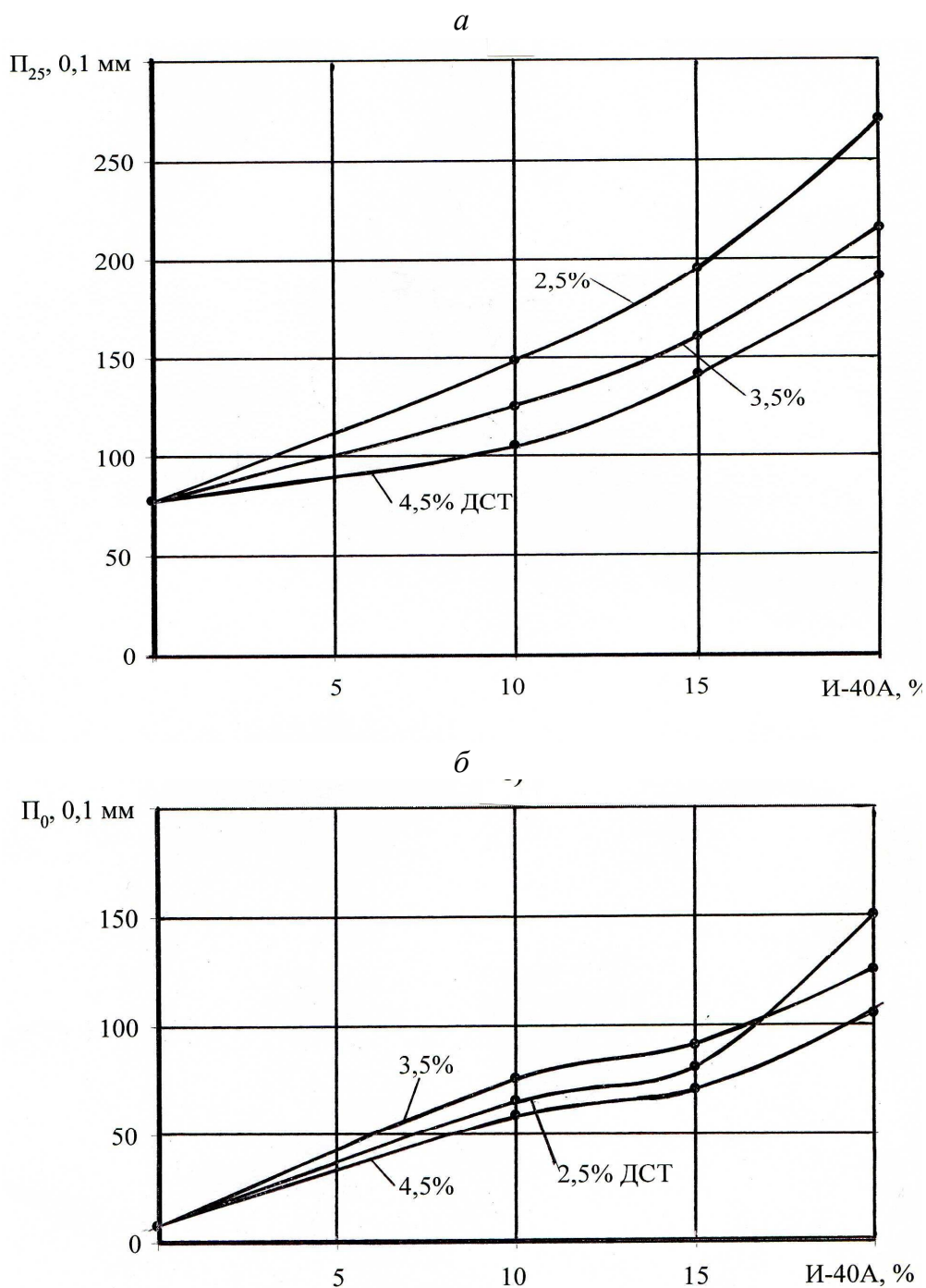


Рис. 29. Зависимость глубины проникания иглы при 25 °С (*a*) и 0 °С (*б*) от содержания в ПБВ пластификатора и ДСТ

В настоящее время в зависимости от области применения в битумы вводят от 1,5 до 10% полимера типа СБС. На структуру и свойства ПБВ большое влияние оказывает его состав. При малом содержании полимера его частицы набухают в маслах битума, они не связаны друг с другом и являются дисперсной фазой. Дисперсионной

средой в ПБВ является битум. При высоком содержании полимера его частицы, набухшие в битумных углеводородах, образуют достаточно регулярную сплошную сетку, которая становится средой. Битум размещается в ячейках полимерной сетки и становится дисперсной фазой. При среднем содержании полимера образуется структура со смешанным характером распределения и взаимодействием битумной и полимерной составляющих [5].

В.А. Золотарев по аналогии с битумами выделяет три типа структур ПБВ. Первый (I) – это битумополимер, когда среда представлена битумом, а фаза полимером, второй (II) – это полимербитум, когда средой является полимер, а битум фазой и третий (III) переходный между ними тип ПБВ. Зависимость свойств ПБВ от содержания полимера СБС показана на рис. 30 [5].

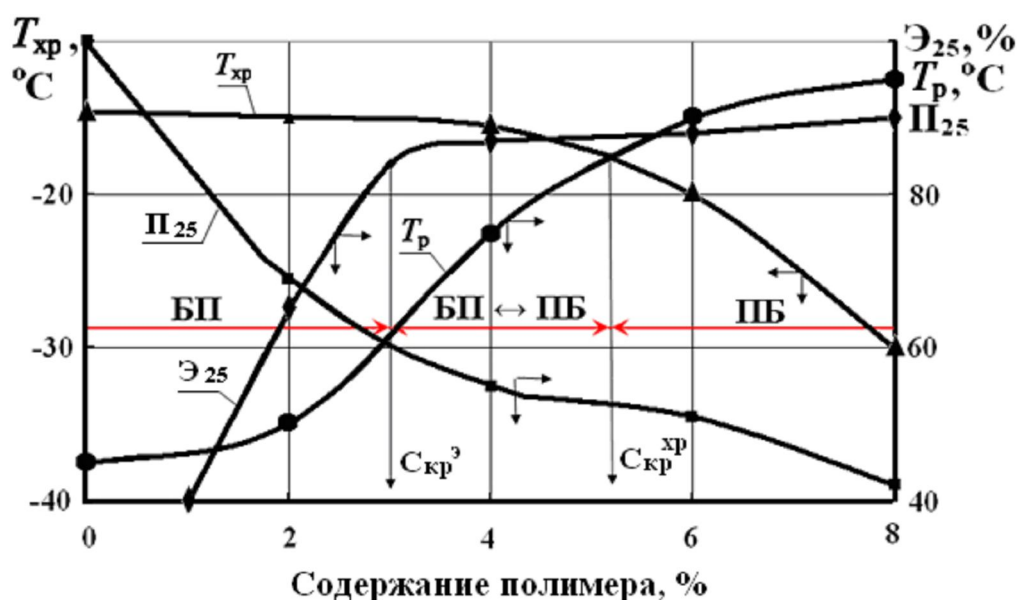


Рис. 30. Зависимость эластичности (◆- \mathcal{E}_{25}), температуры размягчения (●- T_p), хрупкости (▲- T_{xp}) и пенетрации (■- P_{25}) от содержания полимера.
БП – битумополимер, ПБ – полимербитум

При увеличении количества полимера СБС до 3 – 4% свойства ПБВ изменяются следующим образом: понижается пенетрация, растет температура размягчения, увеличивается эластичность, температура хрупкости практически не изменяется. Понижение температуры хрупкости, дальнейшее снижение пенетрации, рост температуры размягчения и незначительное увеличение эластичности наблюдаются при содержании полимера более 5%, что отвечает формированию системы, в которой средой становится полимер.

Степень понижения температуры хрупкости в результате повышения содержания СБС зависит от количества и соотношения парафино-нафтеновых и ароматических углеводородов в битуме. Чем меньше вязкость битума, тем более благоприятны условия для образования полимерной сетки в нем и тем ниже будет температура хрупкости ПБВ.

На основании результатов исследования свойств ПБВ с использованием полимеров типа СБС, выполненных ФГУП «СоюздорНИИ» и другими организациями, установлено [5, 28, 30, 31]:

1. ПБВ, соответствующие требованиям ГОСТ Р 52056–2003, могут быть получены на битумах любого структурного типа и марки. Для образования пространственной структурной сетки в ПБВ на основе битумов марок БНД необходимое минимальное количество ДСТ-30Р-01 составляет 2,5 – 3,0%, в ПБВ на битумах марок БН – 3,5 – 4,0%.

2. Полимерно-битумные вяжущие на основе битумов марок БНД 60/90, БНД 90/130, имеющие температуры хрупкости ниже -25°C , могут быть получены только с применением пластификатора при содержании полимера 3,5 – 4,5%.

3. При получении ПБВ без пластификатора целесообразно использовать битумы пониженной вязкости с глубиной проникания иглы при температуре 25°C (P_{25}), равной $(200 - 300) \cdot 0,1$ мм, а содержание полимера увеличивать до 6 – 8% по массе.

4. Устойчивость к старению ПБВ с пластификатором практически не отличается от битумов, а устойчивость к расслоению по некоторым показателям выше.

При длительном хранении ПБВ или транспортировании при температуре 160°C вяжущее следует перемешивать с периодичностью 2 – 3 ч.

5. Сопоставление нормативных требований ПБВ в соответствии с ГОСТ Р 52056 с зарубежными стандартами на ПБВ показывает, что оно превосходит мировые аналоги по показателям трещиностойкости и деформативности при низких температурах.

При этом отечественные ПБВ отличаются меньшей стоимостью, чем зарубежные, так как содержат минимально необходимые количества полимера и пластификатора.

6. Полимерно-битумные вяжущие на основе СБС по сравнению с битумами обладают высокой эластичностью, трещиностойкостью и деформативностью при низких температурах.

7. Применение ПБВ для приготовления горячих полимерасфальтобетонных смесей позволяет получить полимерасфальтобетоны с более высокими показателями сдвигоустойчивости, трещиностойкости, морозостойкости и долговременной прочности, чем асфальтобетоны на битумах. Срок службы полимерасфальтобетонных покрытий в 2 – 3 раза превышает срок эксплуатации асфальтобетонных покрытий.

9.3. Технология приготовления модифицированных битумов с использованием ДСТ

Полимерно-битумные вяжущие требуемого качества изготавливают перемешиванием вязких дорожных битумов с блоксополимерами типа СБС и поверхностно-активными веществами (ПАВ), а при необходимости с пластификаторами.

Реальное оборудование, его производительность и размещение определяются технико-экономическими показателями, обусловленными требуемым объемом ПБВ.

Полимерно-битумные вяжущие получают на асфальтобетонных заводах, оснащенных специальными установками. Так, фирма «Benninghoven» выпускает тригональную смесительную установку для получения ПБВ. Установка состоит из смесителя объемом 5 м³ с лопастной мешалкой, тригональной машины (коллоидная мельница «Сифер»), дозирующего, перекачивающего оборудования и трубопроводов. Корпус смесителя, тригональная машина и все битумопроводы снабжены масляным подогревом с температурой до 190 °С.

ПБВ в тригональной смесительной установке получают по технологической схеме, представленной на рис. 31.

ПБВ можно получать двумя способами.

По первому (одностадийному) способу ПБВ получают в следующей технологической последовательности.

Вязкий дорожный битум нагревают в цистерне битумоплавильного агрегата до температуры 140 – 150 °С. С пульта установки осуществляют подачу масла от масляного нагревателя в масляные рубашки смесителя, тригональной машины, битумопроводов, битумных насосов.

После обогрева битумных коммуникаций при помощи шестеренного насоса через объемный дозатор в смеситель закачивается требуемое по рецепту ПБВ количество битума, имеющего температу-

ру 140 – 150 °С. Температуру битума в смесителе поднимают до 150 – 160 °С и начинают введение в битум необходимого количества пластификатора. Пластификатор подается в смеситель из ёмкости для хранения с помощью шестеренного насоса через объёмный дозатор. Как только пластификатор начинает поступать в смеситель, включается лопастная мешалка. Время перемешивания битума с пластификатором составляет 5 – 7 мин. В процессе перемешивания температуру пластифицированного битума доводят до 150 – 160 °С.

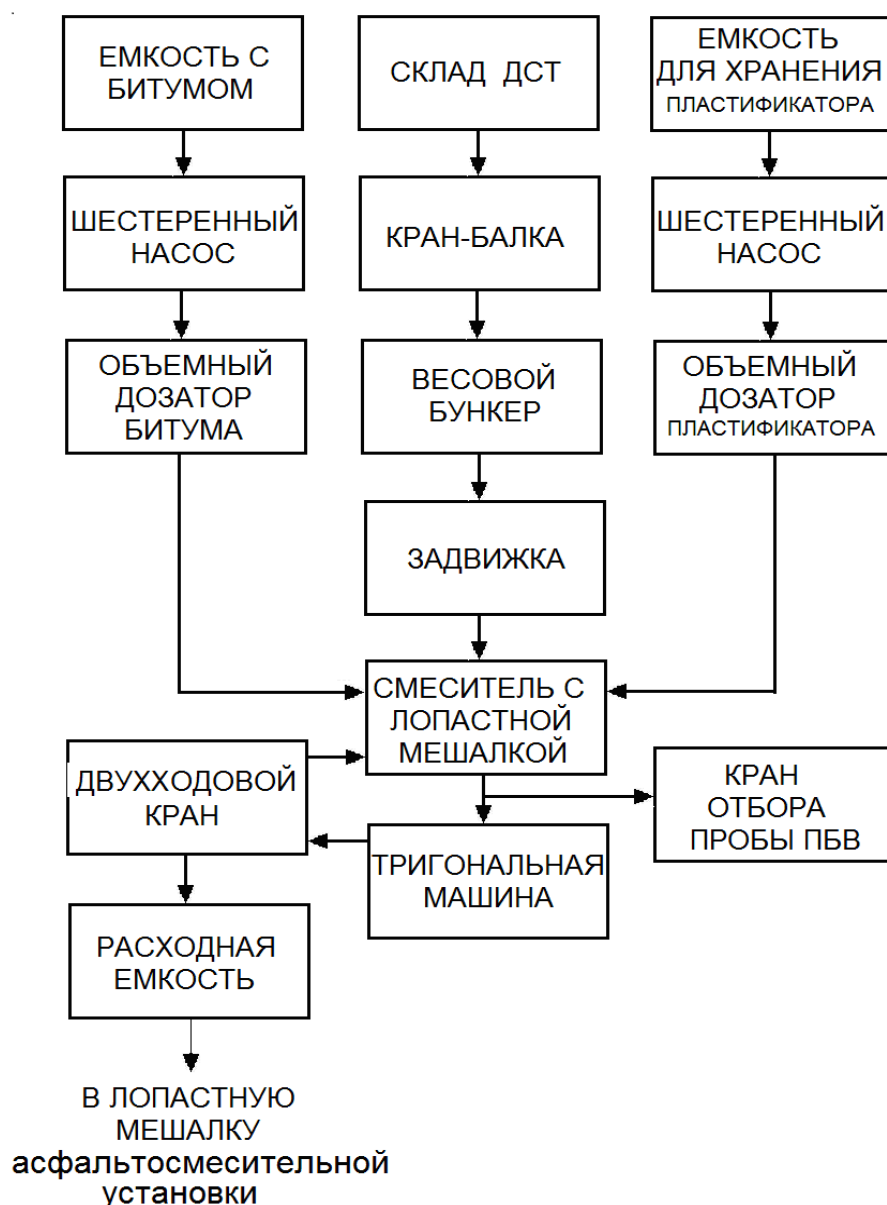


Рис. 31. Технологическая схема приготовления полимерно-битумного вяжущего на установке фирмы «Beninghoven»

Со склада ДСТ с помощью кран-балки подаётся в весовой бункер, откуда при открывании задвижки необходимое его количество (3,0 – 4,5% от массы ПБВ) постепенно в течение 3 – 5 мин дозируется в смеситель при работающей лопастной мешалке.

После дозирования ДСТ в пластифицированный битум включается тригональная машина и производится циркуляция смеси вначале при максимальном зазоре (ширина щели) тригональной машины.

В течение 0,5 ч зазор постепенно доводят до минимального значения. Циркуляцию смеси в системе «смеситель – тригональная машина» при температуре 150 – 160 °С и минимальном зазоре в тригональной машине осуществляют еще в течение 0,4 – 0,5 ч, после чего готовое ПБВ при температуре 150 – 160 °С перекачивают в расходную ёмкость, для чего производится переключение двухходового битумного крана.

По второму (двухстадийному) способу ПБВ получают в следующем порядке.

Производят нагрев битума в битумоплавильном агрегате и обогрев битумных коммуникаций.

Пластификатор с помощью шестеренного насоса через объёмный дозатор подаётся в смеситель из емкости для хранения. После перекачивания необходимого количества пластификатора включается лопастная мешалка и производится нагрев пластификатора до температуры 100 – 20 °С. ДСТ со склада при помощи кран-балки подаётся в весовой бункер, откуда при открывании задвижки необходимое его количество постепенно дозируется в смеситель при работающей мешалке. По окончании дозирования ДСТ включается тригональная машина и производится циркуляция смеси вначале с максимальным зазором в тригональной машине. При циркуляции смеси в течение 0,5 ч зазор постепенно доводится до минимального значения, а температуру раствора ДСТ повышают до 150 °С.

В смеситель шестеренным насосом через объёмный дозатор закачивается битум, имеющий температуру 140 – 150 °С. Циркуляцию смеси битума с раствором ДСТ осуществляют при температуре 150 – 160 °С в течение 0,4 – 0,5 ч, после чего готовое ПБВ с температурой 150 – 160 °С перекачивают в расходную ёмкость переключением двухходового битумного крана.

Кроме этого, полимерно-битумное вяжущее может быть получено в смесителе с лопастной мешалкой.

При получении ПБВ в качестве пластификаторов могут быть использованы смесь отработанных автомобильных смазочных масел (СОАМ) или промышленное масло.

Технологическая схема приготовления ПБВ в смесителе с лопастной мешалкой (рис. 32) предусматривает получение вязущих по одно- и двухстадийному способу. В ёмкости 1 битум обезвоживается и нагревается до температуры 150 – 160 °С, затем насосом 2 перекачивается в смеситель 8. Полимер из бункера 3 через дозатор 4 подаётся в смеситель 8. Полимер из бункера 3 через дозатор 4 подаётся в смеситель 8 или ёмкость 7 для приготовления раствора с пластификатором.

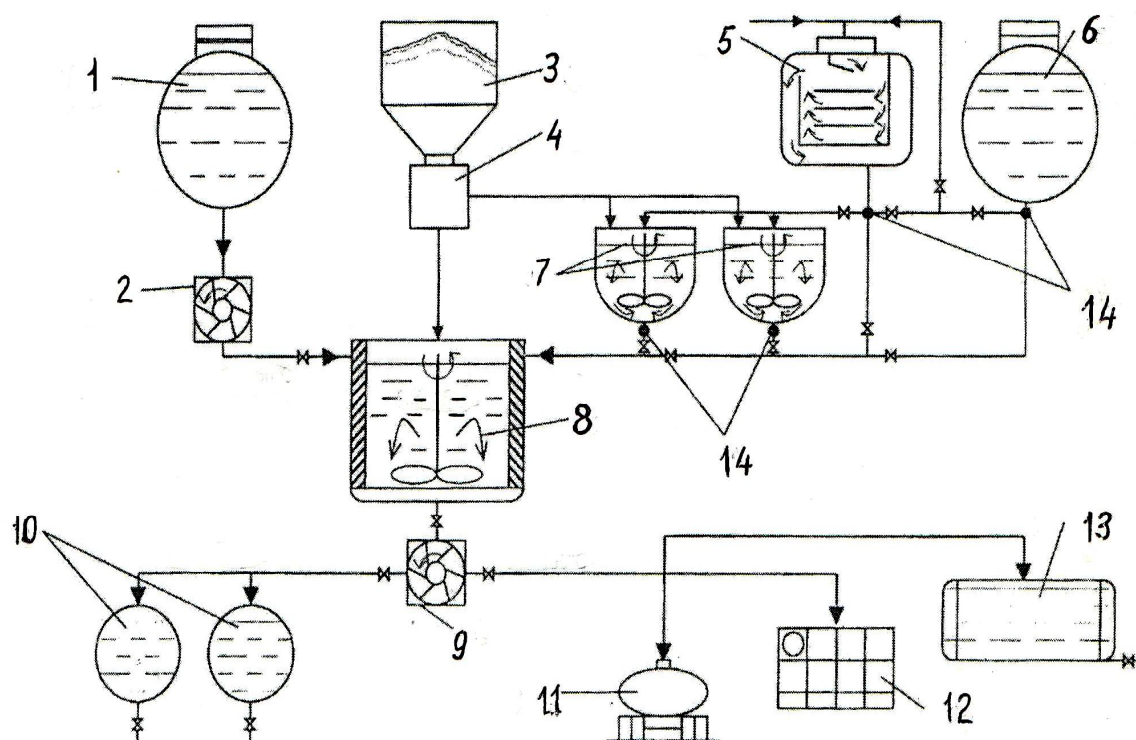


Рис. 32. Технологическая схема получения ПБВ в смесителе с лопастной мешалкой: 1 – ёмкость для битума; 2 – битумная насосная станция; 3 – бункер для полимера; 4 – дозатор; 5 – установка для подготовки СОАМ; 6 – ёмкость для пластификатора; 7 – ёмкости для приготовления раствора пластификатора с полимером; 8 – смеситель; 9 – насосная станция для перекачки ПБВ; 10 – ёмкости для хранения ПБВ; 11 – автобитумовоз; 12 – переносная тара; 13 – расходная ёмкость для ПБВ асфальтосмесительной установки; 14 – дозаторы

В процессе приготовления раствора полимера с пластификатором при температуре 20 – 25 °С происходит частичное набухание полимерной крошки в масляной среде. При температуре 140 – 160 °С

полимер растворяется в масле, образуя однородный раствор. Ёмкость 7 снабжена механической мешалкой, которая включается при подогреве смеси и перед дозированием раствора в смеситель 8. При использовании в качестве пластификатора СОАМ необходимо произвести его обезвоживание и очистку от тяжёлых остатков. Для этого в технологическую схему включена установка 5 для подготовки СОАМ, в которую пластификатор поступает из автоцистерны или ёмкости для пластификатора 6. Обезвоженная и очищенная СОАМ подаётся в ёмкость 7 для приготовления раствора полимера или в смеситель 8.

Ёмкость смесителя теплоизолирована и снабжена подогревом, что позволяет сохранить стабильную температуру при перемешивании ПБВ. Циркуляция и перекачивание ПБВ производится насосом 9. Температура приготовления ПБВ составляет 140 – 160 °С, время перемешивания 2 ч. Готовое ПБВ поступает в ёмкости 10, в автобитумовоз 11, в переносную тару 12 или в расходную ёмкость 13 асфальтосмесительной установки.

Для приготовления ПБВ можно использовать любую обогреваемую ёмкость, оборудованную механической мешалкой, в том числе битумные котлы и реакторы бескомпрессорных установок типа Т-309. Площадь горловины ёмкостей для приготовления и хранения РП, БРП, ПБВ должна быть не менее 0,3 м². Крышка ёмкости должна открываться полностью для обеспечения свободной загрузки материалов и возможности осмотра дна и стенок ёмкости. На крышке необходимо предусмотреть небольшие герметично закрывающиеся клапаны для замера уровня и отбора проб сырья, а также готового ПБВ. Пластификатор, битум или сырьё загружают в ёмкость не более чем на 0,7 её объема.

9.4. Проектирование состава полимерно-битумного вяжущего на основе полимеров СБС

Основной принцип подбора состава ПБВ заключается в обеспечении требуемых для данных условий эксплуатации показателей их физико-механических свойств.

Полимерно-битумные вяжущие являются многокомпонентными системами. Основной технологической характеристикой ПБВ, свидетельствующей о требуемой совместимости компонентов ПБВ, является однородность.

Важнейшей технологической характеристикой ПБВ является температура вспышки, которая гарантирует пожарную безопасность при производстве работ и определяет температурные режимы его приготовления.

Основными эксплуатационными показателями свойств ПБВ, нормируемыми ГОСТ Р 52056, являются: температура хрупкости по Фраасу, температура размягчения по методу «Кольцо и шар», эластичность при температурах 25 и 0 °С, изменение температуры размягчения после прогрева, сцепление ПБВ с поверхностью минеральных материалов.

Показатели свойств ПБВ: глубина проникания иглы при 25 и 0 °С, растяжимость при 25 и 0 °С позволяют наиболее полно охарактеризовать его качество.

При подборе состава ПБВ необходимо знать требуемые для заданных условий эксплуатации показатели свойств ПБВ.

Подбор состава ПБВ производят в таком порядке [28, 29]:

1. Определяют по ГОСТ 9128 требуемые для данного района строительства и условий эксплуатации свойства ПБВ: температуру хрупкости, температуру размягчения, эластичность.

2. Устанавливают минимально необходимое содержание пластификатора P_{\min} в вяжущем, исходя из требуемой температуры хрупкости. Экспериментально подбирается такое количество пластификатора, чтобы температура хрупкости была ниже требуемой для ПБВ на 2 – 3 °С. Если температура хрупкости исходного битума соответствует расчетному значению с требуемым запасом, а ПБВ готовится по первому способу, то необходимость применения пластификатора и его содержание определяются минимально необходимой глубиной проникания иглы при 25 °С для ПБВ заданной марки.

3. Определяют минимальное содержание полимера ($СБС_{\min}$) в вяжущем в зависимости от требуемых температур размягчения и эластичности. Для этого в битум добавляют минимальное количество пластификатора (см. п. 2) и 2% полимера. Смесь перемешивают до однородного состояния, начиная при температуре 110 – 120 °С и постепенно повышая до 155 – 160 °С. Однородность смеси оценивают по стеклянной палочке, эластичность – экспресс-методом по ГОСТ Р 52056. Если указанные показатели соответствуют требуемым значениям, то готовят ПБВ (около 0,5 кг) для определения всего комплекса показателей свойств по ГОСТ Р 52056. Если показатели (тем-

пература хрупкости и эластичность) не достигли требуемых значений, то увеличивают содержание полимера в смеси с шагом 0,5%.

Приготавливают несколько образцов ПБВ при $П_{\min}$. При этом содержание полимера $СБС_{\min}$ увеличивают на 0,5 – 3,0% с шагом 0,5%. У приготовленных образцов ПБВ определяют в первую очередь однородность и только после ее достижения – весь комплекс показателей.

Если блоксополимер типа СБС не содержит в своем составе ПАВ, то показатель сцепления ПБВ со щебнем и песком, как правило, не соответствует требованиям ГОСТ Р 52056. В этом случае в ПБВ вводят ПАВ катионного типа в минимальном количестве, позволяющем обеспечить указанное выше требование.

Анализ полученных данных позволяет определить состав ПБВ с минимально необходимым содержанием пластификатора и полимера, свойства которых удовлетворяют техническим требованиям.

В производственных условиях необходимо корректировать состав ПБВ, так как промышленные партии битумов различаются не только по конкретным показателям качества, но и по маркам; партии полимера – по качеству. В связи с этим на первых этапах освоения производства и применения ПБВ необходимо систематически набирать данные по концентрационным зависимостям всех стандартных показателей свойств от содержания полимера, пластификатора и глубины проникания иглы исходного битума. Эти данные необходимо использовать для составления производственных номограмм в табличной или графической форме.

9.5. Технология приготовления битумов с добавками поверхностно-активных веществ

Для улучшения сцепления (адгезии) битума с поверхностью каменных материалов в битумы вводят добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ) [30, 31, 35]. Активация битумов адгезионными добавками производится в условиях АБЗ. Добавка, отдозированная весовым или объемным способом, вводится в рабочий котел битумоплавильной установки. При этом емкость заполняется битумом не более чем на 0,7 объема. Температура вязких дорожных битумов при введении добавок в зависимости от марки битума должна составлять 110 – 140 °С, жидких – 80 – 110 °С. Оптимальное содержание добавок уточняют в лабораторных условиях с учетом особенностей приме-

няемых минеральных материалов и битума. Активацию битума адгезионными добавками можно осуществить одним из следующих способов.

Вариант 1 предусматривает возможность получения активированного битума при транспортировке добавки в металлических или полиэтиленовых бочках (рис. 33).

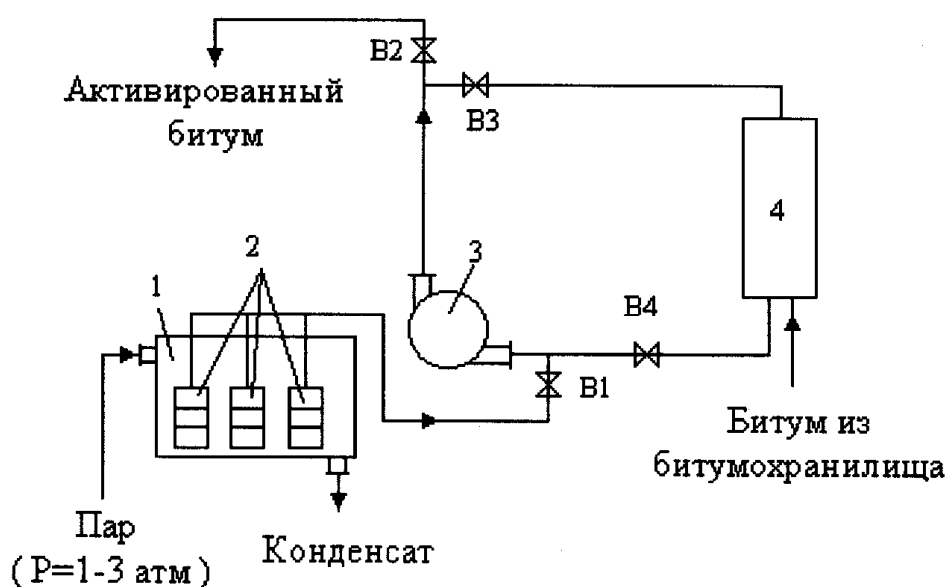


Рис. 33. Схема приготовления активированного битума при транспортировке добавки в металлических или полиэтиленовых бочках: 1 – металлический контейнер для разогрева бочек; 2 – металлические или полиэтиленовые бочки; 3 – битумный насос шестеренный; 4 – емкость для приготовления активированного битума

Бочки с добавкой в количестве 1 – 3 шт. (в зависимости от емкости бочек) помещают в металлический контейнер 1, обогреваемый паром (давление 1 – 3 атм, температура 60 – 70 °С). Допускается простейшая конструкция контейнера, сваренного из листового железа с крышкой и сливом парового конденсата. Обогрев бочек осуществляется паром, подаваемым через резиновый шланг, подсоединенный к паровой магистральной линии. При поставке добавки в полиэтиленовых бочках температура при их разогреве не должна превышать 60 °С. Возможен разогрев металлических бочек с помощью специальных теплоэлектронагревателей.

Битум из битумохранилища закачивается в емкость для приготовления активированного битума 4, где доводится до рабочей темпе-

ратуры. После разогрева содержимого бочек включается битумный шестеренный насос 3. Гибкий металлизированный шланг 2 длиной 3 – 4 м погружается в бочку с расплавленной добавкой. Вентиль *B1*, установленный на всасывающей линии, осторожно приоткрывается. Вентили *B2* и *B4* закрыты, а вентиль *B3* открыт. Во избежание попадания воздушных пузырей на всасывающей линии насоса при переносе шланга из одной бочки в другую вентиль *B1* закрывается. После перекачивания из бочек необходимого количества добавки в емкость 4 вентиль *B1* закрывается, а вентиль *B4* открывается. Происходит перемешивание битума с добавкой в течение 5 – 10 ч (не менее 10 циркуляций по объему емкости 4).

После полного смешения битума с добавкой вентиль *B2* открывается. Активированный битум перекачивается в расходную емкость асфальтосмесительной установки для последующего приготовления асфальтобетонной или полимерасфальтобетонной смеси. Затем цикл приготовления активированного битума повторяется.

Вариант 2 предусматривает возможность получения активированного битума при транспортировке добавки автобитумовозами или автогудронаторами (рис. 34).

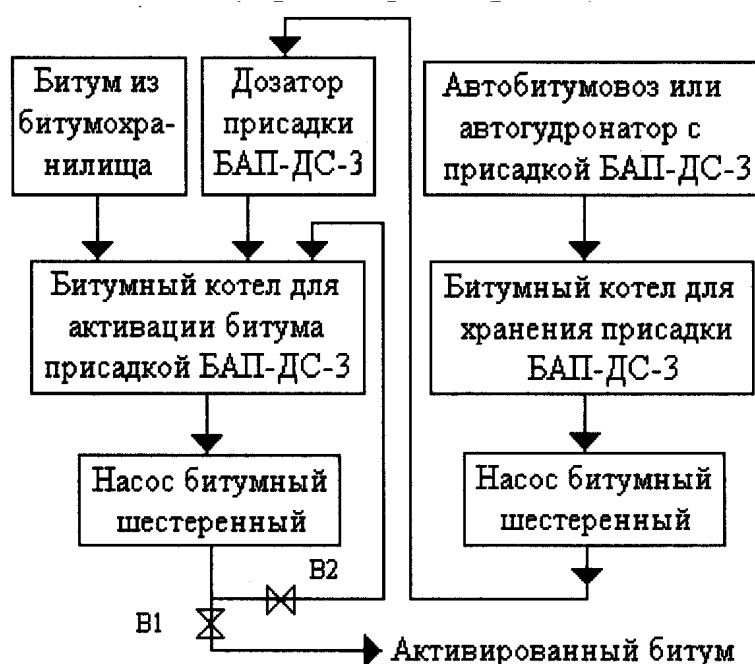


Рис. 34. Схема приготовления активированного битума при транспортировке добавки автобитумовозами или автогудронаторами

Добавка, например, БАП-ДС-3 из автобитумовоза или автогудронатора перекачивается в емкость для хранения, имеющую подогрев. Битум из битумохранилища закачивается в емкость для приготовления активированного битума, где нагревается до рабочей температуры. Разогретая до температуры 60 – 70 °С добавка из котла для хранения шестеренным битумным насосом через дозатор подается в емкость для приготовления активированного битума. Происходит перемешивание битума с добавкой путем циркуляции с помощью битумного насоса в течение 5 – 10 ч (не менее 10 циркуляций по объему емкости для приготовления активированного битума). После полного смешения битума с добавкой вентиль *B2* закрывается, а вентиль *B1* открывается.

Активированный битум перекачивается в расходную емкость асфальтосмесительной установки для последующего приготовления асфальтобетонной (полимерасфальтобетонной) смеси. Затем цикл приготовления битума повторяется.

9.6. Технология приготовления полимерно-битумных вяжущих на основе полимерной композиции «Каудест-Д»

Технология приготовления ПБВ в смесителе периодического действия на основе полимерной композиции «Каудест-Д» (улучшенный) приведена на рис. 35.

Из автобитумовоза или из рабочей битумной ёмкости выпаренный и нагретый до рабочей температуры 135 – 145 °С вязкий дорожный битум закачивается в смесительную установку. Количество поступившего в смеситель битума контролируется тарировочной рейкой.

Полимерная композиция «Каудест-Д» со склада транспортируется к смесителю. Бочки с модификатором подъёмником подаются к загрузочному люку, после чего происходит подача заданного количества модификатора в битум.

По окончании загрузки включается электроподогрев смесителя и начинается процесс перемешивания. Время перемешивания составляет 60 мин. Критерием готовности ПБВ является его однородность, определяемая методом «стеклянной палочки». Приготовленное ПБВ битумным шестеренным насосом подаётся в рабочую емкость асфальтосмесительной установки или отпускается потребителю.

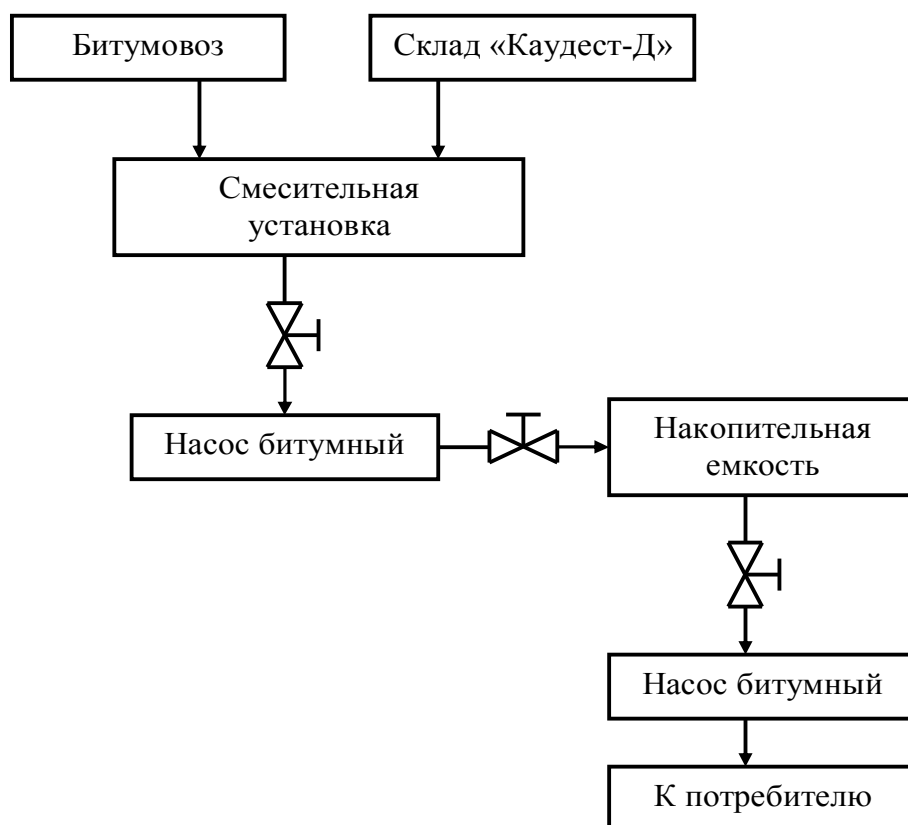


Рис. 35. Технологическая схема приготовления полимерно-битумного вяжущего на основе «Каудест-Д»

9.7. Технология приготовления полимерно-битумных вяжущих на основе атактического полипропилена

Технология приготовления битума, модифицированного атактическим полипропиленом (АПП), приведена на рис. 36.

АПП со склада наклонным ленточным транспортёром подаётся в расходный бункер, откуда через дозатор в смеситель или битумоплавительный котёл с мешалкой, заполненный горячим и обезвоженным битумом. В смесителе (битумоплавительном котле) при температуре 150 – 160 °С битум с АПП выдерживается в течение 0,5 – 1,0 ч при работающей мешалке.

После приготовления готовое ПБВ поступает в накопительную ёмкость или в автобитумовоз. При перерывах в работе битумоплавительный котёл и битумный шестеренный насос работают в режиме циркуляции.

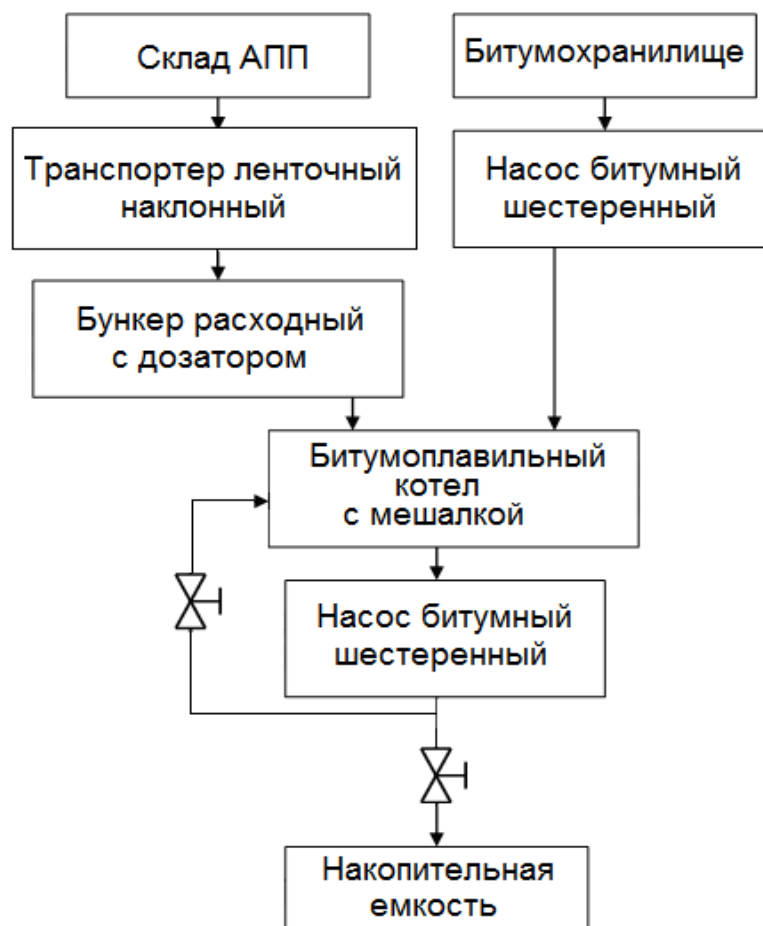


Рис. 36. Технологическая схема приготовления битума, модифицированного атактическим полипропиленом

9.8. Технология приготовления резинобитумных вяжущих

Технология приготовления резинобитумных вяжущих на основе эластомера дорожного

Резинобитумное вяжущее (РБВ) приготавливают на стационарной установке, технологическая схема которой показана на рис. 37.

Эластомер дорожный приготавливают по следующей технологии. Резиновую крошку из приемного бункера 1 по ленточному транспортеру 2 подают через дозатор 3 в реактор-мешалку 5. Одновременно с резиновой крошкой в мешалку из дозатора 4 подают сланцевое масло. Общая масса поданной в реактор-мешалку резиновой крошки и сланцевого масла должна быть не более 4000 кг.

Резиновую крошку и сланцевое масло в реакторе-мешалке перемешивают в течение 3 – 4 ч при температуре 180 – 210 °С до получения однородной массы. Во время перемешивания смеси (т.е. про-

цесса термомеханической девулканизации резиновой крошки) необходимо строго следить за системой обогрева и не допускать перебоев в ее работе, обеспечивая тем самым указанные пределы температурного режима. После завершения процесса девулканизации резиновой крошки в реактор-мешалку 5 через дозатор 3 подают требуемое количество отвердителя. Смешение компонентов производят в течение 1 – 1,5 ч при температуре 170 – 190 °С.

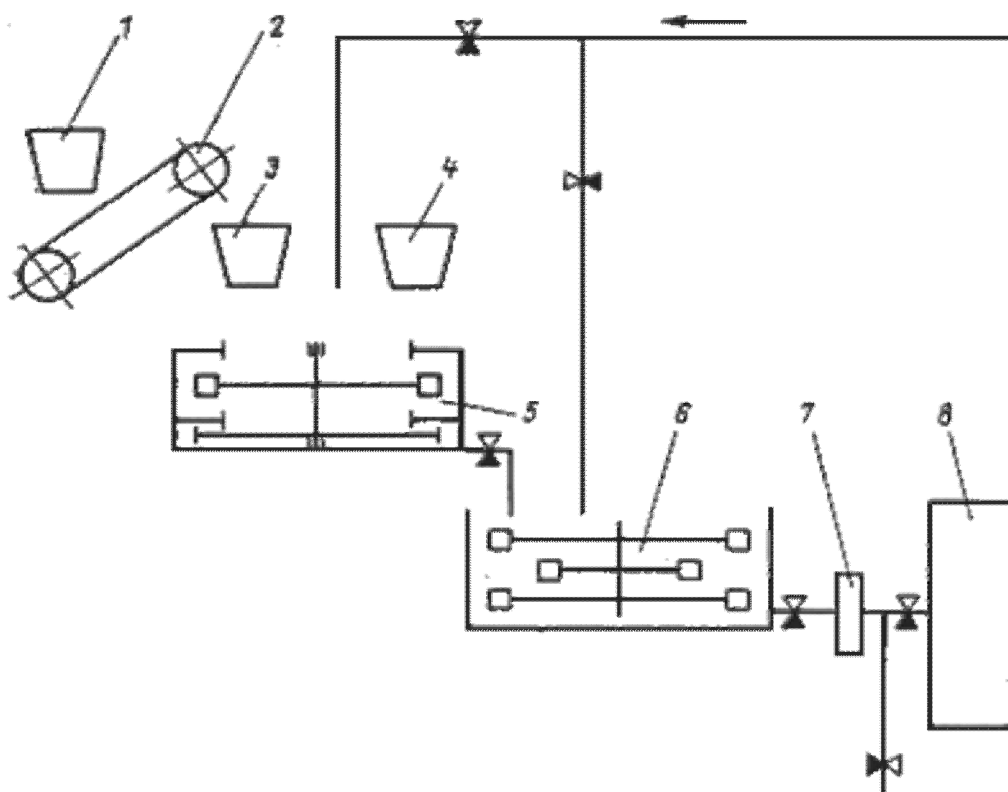


Рис. 37. Технологическая схема приготовления резинобитумного вяжущего на основе эластомера дорожного: 1 – бункер резиновой крошки; 2 – ленточный транспортер; 3 – дозатор резиновой крошки; 4 – дозатор сланцевого масла; 5 – реактор-мешалка для девулканизации резиновой крошки; 6 – реактор-мешалка для приготовления резинобитумного вяжущего; 7 – битумный насос; 8 – накопительная емкость

При приготовлении РБВ сначала в реактор-мешалку 6 из битумного котла подают обезвоженный и нагретый до температуры 150 – 160 °С битум, после чего включают мешалку, из реактора 5 в реактор 6 подают требуемое количество эластомера дорожного.

Полученную смесь перемешивают в течение 0,5 – 1 ч при температуре 150 – 170 °С. Количество битума и эластомера дорожного, необходимого для приготовления РБВ соответствующей марки, кон-

тролируют посредством датчика, установленного в реакторе-мешалке 6. Приготовленное вяжущее из реактора-мешалки 6 перекачивают насосом 7 в накопительную емкость 8. Все элементы коммуникаций установки по производству РБВ (битумопроводы, насосы, краны и т.д.) должны быть обеспечены системой обогрева.

Если при приготовлении резинобитумного вяжущего часть эластомера окажется неиспользованной, то ее из реактора-мешалки 5 перекачивают в реактор-мешалку 6, после чего производят промывку реактора 5. Реактор-мешалку 5 промывают битумом при температуре 150 – 170 °С с помощью насоса 7 после завершения каждого цикла приготовления эластомера.

Технология приготовления резинобитумных вяжущих с пластификатором и механоактивированной резиновой крошкой

Резинобитумное вяжущее получают в такой последовательности (рис. 38). Механоактивированная резиновая крошка (РК) из бункера 1 по ленточному транспортеру 2 поступает в мешалку 3. Одновременно из емкости 6 насосом 4 по трубопроводу 9 подается пластификатор (минеральное масло или гудрон), нагретый до 150 – 170 °С. Резиновую крошку и пластификатор перемешивают при 150 – 170 °С в течение 4 – 5 ч. Соотношение РК и пластификатора составляет по массе от 40:60 до 50:50.

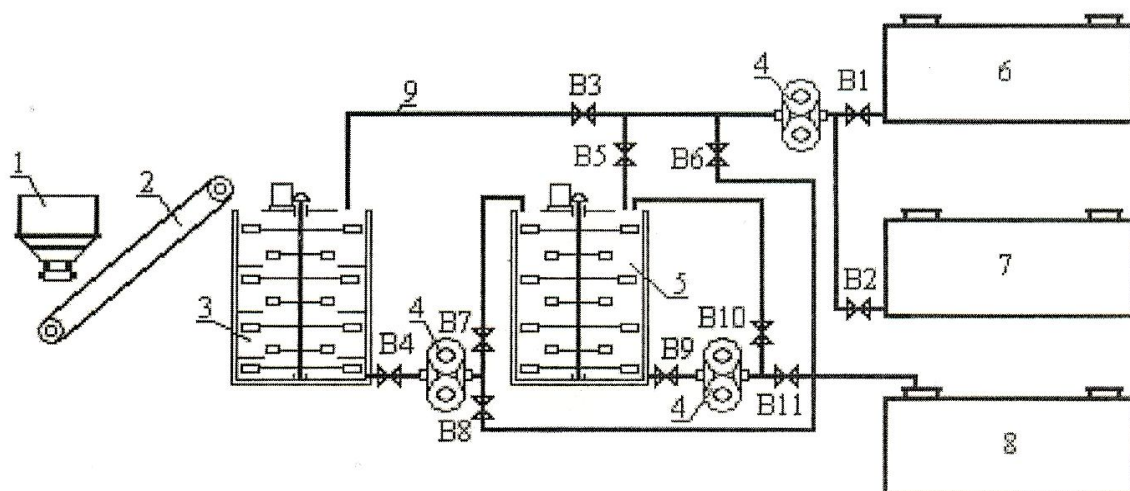


Рис. 38. Технологическая схема приготовления резинобитумного вяжущего с пластификатором: 1 – бункер резиновой крошки; 2 – ленточный транспортер; 3 и 5 – шнеколопастные мешалки; 4 – битумный насос; 6 – емкость для пластификатора; 7 – битумный котел; 8 – накопительная емкость для резинобитумного вяжущего; 9 – трубопровод

При получении РБВ сначала в шнеколопастную мешалку 5 насосом 4 подают из битумного котла 7 обезвоженный и нагретый до температуры 150 – 160 °С битум. После чего включают мешалку 5 и из мешалки 3 насосом 4 подают требуемое количество пластифицированной РК. Смесь перемешивают в течение 0,5 – 1 ч при температуре 150 – 160 °С и дополнительно осуществляют циркуляцию РБВ насосом в течение 0,5 ч. Резинобитумное вяжущее из мешалки 5 перекачивается насосом 4 в накопительную емкость 8.

Технологическая схема приготовления резинобитумного (резиногудронового) вяжущего без пластификатора приведена на рис. 39.

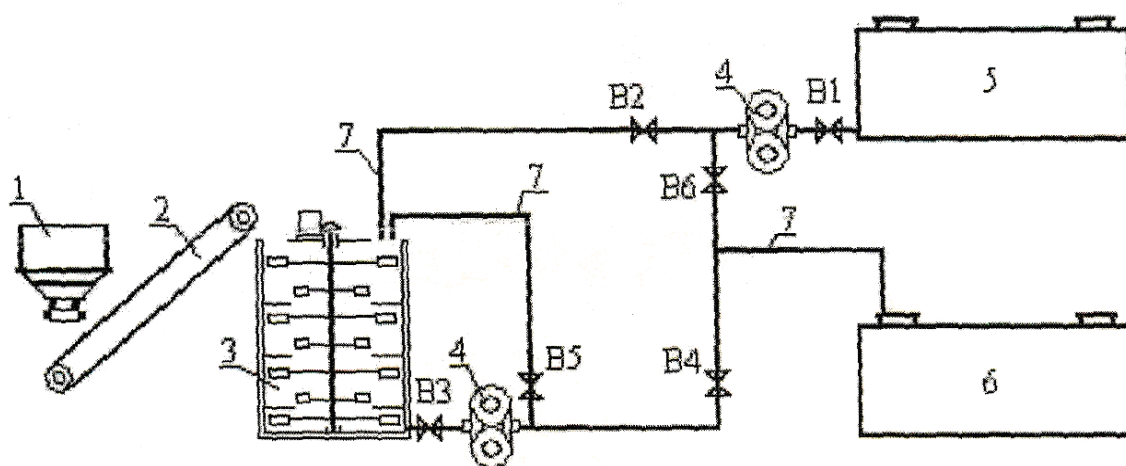


Рис. 39. Технологическая схема приготовления резинобитумного вяжущего:

1 – бункер для резиновой крошки; 2 – транспортер ленточный;
3 – шнеколопастная мешалка; 4 – битумный насос; 5 – битумный котел;
6 – накопительная емкость; 7 – трубопровод

Битум (гудрон), нагретый до рабочей температуры в битумном котле 5, подается насосом 4 в шнеколопастную мешалку 3. Резиновая крошка из бункера 1 по ленточному транспортеру 2 поступает в мешалку 3. Механоактивированная резиновая крошка перемешивается с битумом (гудроном) при температуре 150 – 170 °С в течение 4 – 7 ч.

Температура и продолжительность перемешивания зависят от вида и свойств РК и битума (гудрона). Дополнительное перемешивание РБВ (РГВ) осуществляют за счет циркуляции вяжущего насосом 4. Готовое РБВ (РГВ) поступает в накопительную емкость 6.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы особенности технологии получения ПБВ на основе полимера СБС в одну стадию?
2. Каковы особенности технологии получения ПБВ на основе полимера СБС в две стадии?
3. Какова технология получения ПБВ с добавкой АПП?
4. Какова технология получения ПБВ с добавкой «Каудест-Д»?
5. Назовите разновидности технологий получения РБВ.
6. Назовите виды смесительных установок для приготовления битумов, модифицированных полимерными добавками и резиновой крошкой.
7. Укажите особенности технологии приготовления битумов с добавками ПАВ.
8. Какое оборудование используют для приготовления битумов с добавками ПАВ?

10. ПРИГОТОВЛЕНИЕ, ХРАНЕНИЕ, УКЛАДКА И УПЛОТНЕНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

10.1. Технология приготовления асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесей

Эффективность и качество дорожного строительства во многом зависят от качества смесей, надежной и ритмичной работы асфальтосмесительных установок [33, 34]. В их состав входит большое количество сложных и дорогостоящих машин и оборудования, которые по своему назначению и устройству чрезвычайно разнообразны и непрерывно пополняются новыми прогрессивными конструкциями. Производство асфальтобетонных смесей – один из самых дорогих и энергоемких процессов дорожного строительства, и от выбора асфальтосмесительной установки и оборудования зависят расход топливно-энергетических ресурсов и стоимость строительства (прил. 4).

Для сокращения сроков строительства, повышения качества и снижения его стоимости необходимым условием является обеспечение полного и эффективного использования всех машин и оборудования, которое входит в состав асфальтобетонного производства.

В большинстве стран мира, где привыкли гордиться своими дорогами, считается, что машина, используемая на строительстве и ремонте дорог, должна отработать 10 лет и далее никакого капитального ремонта, а только обновление парка, покупка новой машины. В нашей стране в силу недостаточности или отсутствия средств на покупку новой техники еще пытаются ремонтировать старые асфальтосмесительные установки. Физически изношенные сушильные барабаны и лотки можно, в конце концов, заменить, но вышедшую из строя систему автоматизации – нет. Машина за 10 лет изнашивается не только физически, но и морально [34].

Спрос на приобретаемую технику, и, прежде всего асфальтосмесительные установки, изменился качественно – резко выросли требования к приобретаемому оборудованию. В настоящее время организации, закупающие асфальтосмесительные установки, сравнивают их по степени укомплектованности, соответствию экологическим требованиям. Например, предпочитают наличие влажной пылеочистки или тканевых фильтров, которые дают возможность улавливать микронные пылинки или так называемую легочную пыль (5 мкм и менее), наиболее вредную и опасную для здоровья человека.

Предпочтение отдается установкам, снабженным компьютерами, позволяющими запомнить и выдать нужный состава асфальтобетонной смеси в зависимости от замены любой из составляющих. При этом решается целый ряд других задач управления и контроля над технологическим процессом. Точность дозирования всех составляющих смеси, оптимальный температурный режим их приготовления, продолжительность и качество перемешивания должны обеспечиваться техническими возможностями установки. Так, точность дозирования по массе щебня и песка допускается $\pm 3\%$, а для минерального порошка и битума $\pm 1,5\%$. Современные установки с тензометрическими системами взвешивания обеспечивают увеличение точности дозирования на порядок. Микропроцессорные системы управления установками, имеющиеся в настоящее время на большинстве производимого оборудования, дают возможность в непрерывном режиме контролировать весь технологический процесс приготовления смесей, быстро переходить на выпуск смесей по любому заранее выданному рецепту.

Для производства асфальтобетонных смесей используются передвижные и стационарные установки непрерывного и периодического действия с производительностью от 50 до 300 и более тонн в час (рис. 40). Вместимость лопастных мешалок периодического действия

составляет от 700 до 3000 кг в зависимости от производительности асфальтосмесительной установки. Большинство установок имеют компоновку башенного типа, характерную для асфальтосмесительных установок фирмы Ammann (рис. 41).

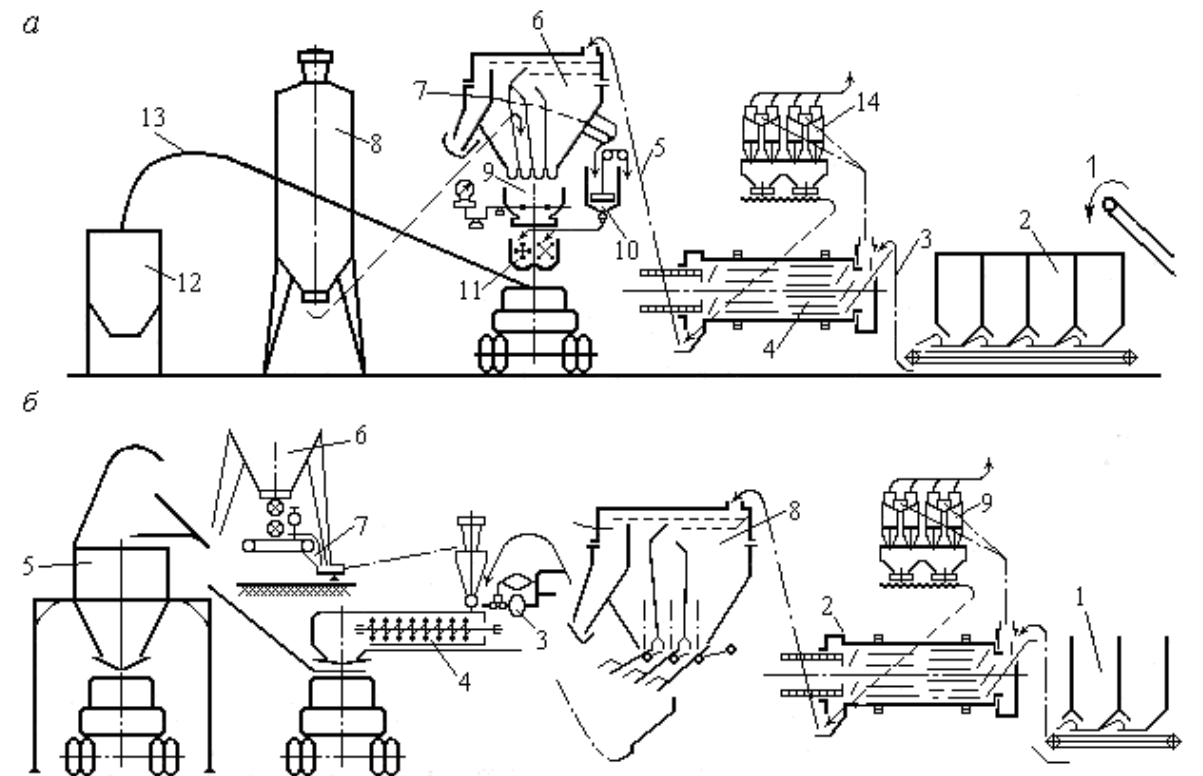


Рис. 40. Смесительное оборудование: *а* – комплект и схема смесительного оборудования башенной системы с мешалкой периодического действия: 1 – загрузочный механизм; 2 – агрегат питания минерального материала; 3 – подъемный транспортный механизм; 4 – сушильный барабан; 5 – ковшовый конвейер для подъема горячих материалов; 6 – виброгрохот; 7 – бункер для горячих материалов; 8 – бункер-силос для минерального порошка; 9 – автоматическая дозировка минеральных материалов; 10 – автоматическая дозировка битума; 11 – мешалка; 12 – накопительный бункер; 13 – скиповый подъемник; 14 – пылеочистительная установка; *б* – комплект и схема смесительного оборудования с мешалкой непрерывного действия: 1 – агрегат питания; 2 – сушильный агрегат; 3 – устройство для дозирования битума; 4 – мешалка; 5 – накопительный бункер; 6 – бункер минерального порошка; 7 – устройство для дозирования минерального порошка; 8 – сортировочное устройство; 9 – устройство для обеспыливания дымовых газов

Блочная конструкция установок позволяет выполнять их монтаж в сжатые сроки, при этом габариты узлов и агрегатов дают возмож-

ность транспортировать их по автомобильным и железным дорогам. Пульты установок оснащены микропроцессорным управлением и поступают полностью смонтированными. Установки, снабженные компьютерами, позволяют запомнить и выдать нужный состав асфальтобетонной смеси в зависимости от замены любой из составляющих. Агрегаты питания содержат до 8 бункеров, что дает возможность выпускать смеси любого состава (см. рис. 41). Тензометрические системы взвешивания материалов обеспечивают точность до 0,1%, а рассеивание каменных материалов на шесть фракций гарантирует высокое качество асфальтобетонных смесей.

Нагрев битума до рабочей температуры, обогрев битумопроводов и оборудования осуществляются с помощью нагревателей жидкого теплоносителя. Большое внимание уделяется экологическим требованиям. Наличие влажной пылеочистки или тканевых фильтров дает возможность улавливать микронные пылинки, наиболее вредные и опасные для здоровья человека.

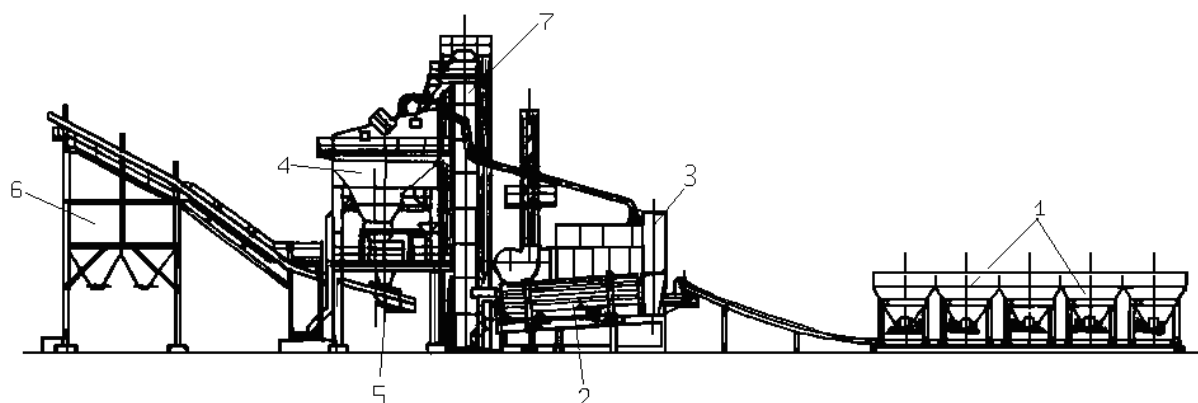


Рис. 41. Технологическая схема асфальтосмесительной установки Ammann:
1 – агрегат питания; 2 – сушильный агрегат; 3 – система очистки уходящих газов;
4 – смесительный агрегат; 5 – скиповый подъемник; 6 – бункер готовой смеси;
7 – горячий элеватор

Технологический процесс приготовления асфальтобетонной смеси (рис. 42) включает следующие основные операции:

- подготовку минеральных материалов (подача и предварительное их дозирование, высушивание и нагрев до требуемой температуры, пофракционное дозирование);
- подготовку битума (подача из хранилища в битумоплавильную, удаление содержащейся влаги и нагрев до рабочей температуры, а в необходимых случаях – введение поверхностно-активных добавок или разжижителя, дозирование перед подачей в мешалку смесителя);

– перемешивание минеральных материалов с битумом и выгрузку готовой асфальтобетонной смеси в накопительные бункеры или автомобили-самосвалы.

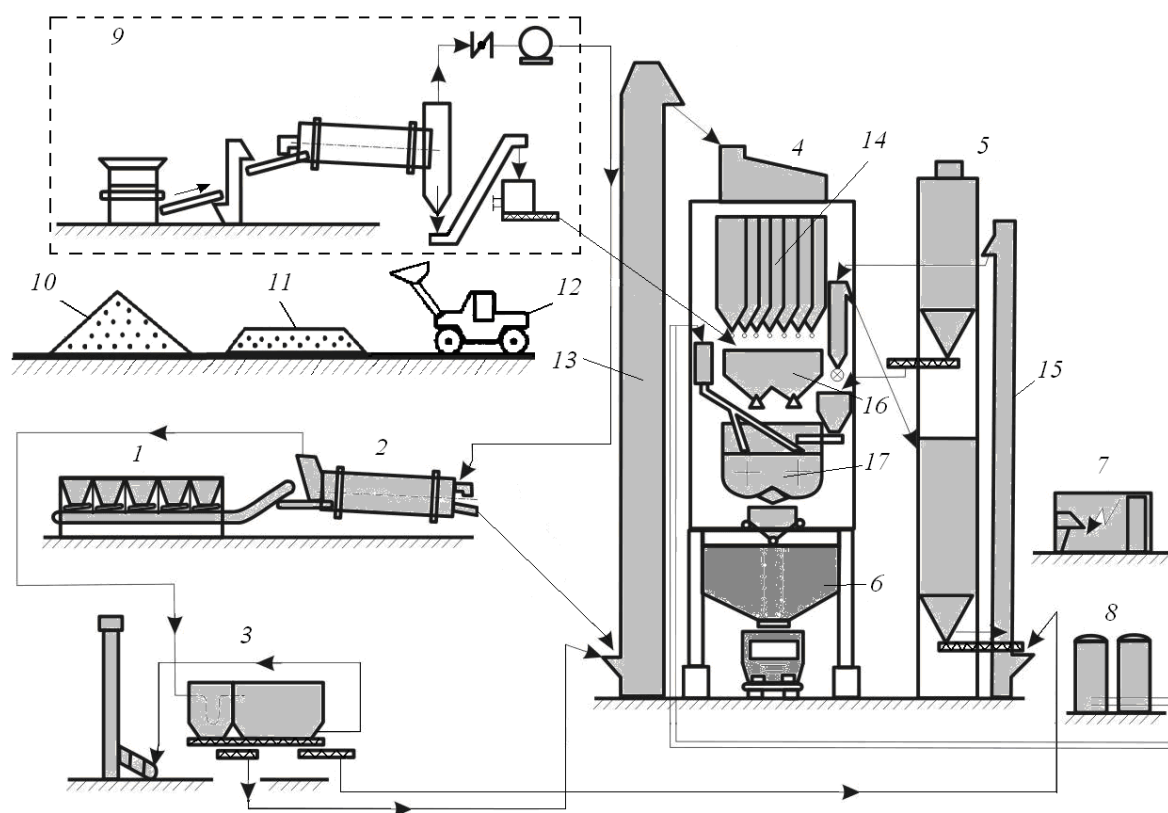


Рис. 42. Технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси на АБЗ:

1 – приемные бункеры-дозаторы; 2 – сушильный барабан;
3 – пылеочистительная установка; 4 – виброгрохот; 5 – расходная емкость минерального порошка; 6 – бункер готовой смеси; 7 – кабина управления;
8 – расходная емкость битума; 9 – линия подготовки регенерируемого асфальтобетона; 10 – склад щебня; 11 – склад песка; 12 – фронтальный погрузчик;
13 – горячий элеватор; 14 – горячий бункер; 15 – элеватор минерального порошка; 16 – весовой дозатор; 17 – лопастная мешалка

Склады щебня 10, гравия и песка 11 на АБЗ представляют собой открытые площадки, где материалы хранят в штабелях. Площадки планируют с уклоном 5 – 20 ° для стока дождевой воды (см. рис. 42). На складских площадках сборно-разборное покрытие делают из готовых бетонных плит. На прирельсовых заводах предусматривают механизированную разгрузку поступающих материалов.

Щебень (гравий), песок или отсеvy дробления подают от места складирования к агрегатам питания фронтальными погрузчиками или

бульдозерами. Использование для этой цели бульдозеров менее эффективно из-за значительных потерь материалов и смешения их между собой. Агрегаты питания оборудуют весовыми или объемными дозаторами для дозирования холодных и влажных материалов перед подачей их в сушильный барабан; при этом предпочтение следует отдавать весовому дозированию (рис. 43). При работе с очень влажными материалами вводят поправку на влажность.

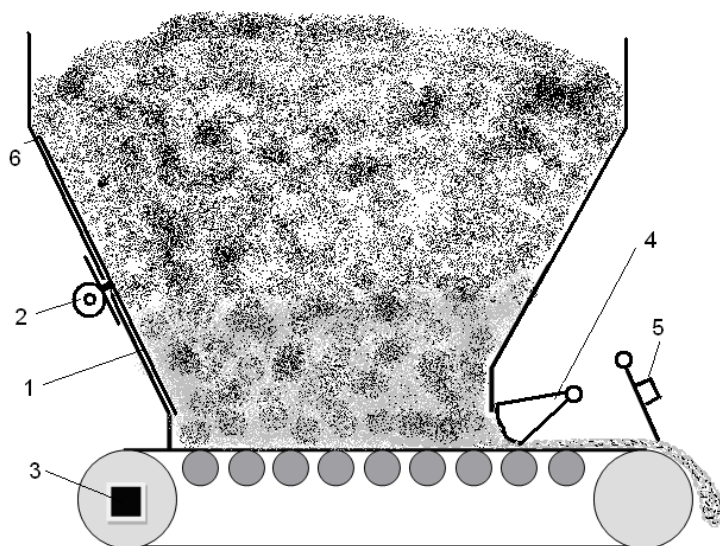


Рис. 43. Агрегат питания: 1 – виброплита; 2 – вибратор;
3 – тахометр; 4 – секторный затвор; 5 – датчик расхода материала;
6 – точка подвеса виброплиты

Стенки бункеров очень крутые. Их угол наклона 67° . Поскольку стенки заканчиваются саморазгружающимся дном, исключено образование пробок материала и обеспечен его равномерный поток. В качестве дополнительного оборудования при работе с особенно вязкими материалами устанавливается вибратор, монтируемый на свободно колеблющейся виброплите. Это также способствует предотвращению образования пробок без вибрации всего бункера. Точное выдерживание требуемой скорости ленты является условием для правильного воспроизведения рецептуры. Выдачу материала из различных бункеров можно изменять для сохранения точности процентного состава смеси в соответствии с рецептурой. Скорость ленты надежно фиксируется тахометром на ведущем валу ролика, даже если она проскальзывает. Это также способствует точности состава смеси. Опорные ролики жестко закреплены по всей длине ленты, не позволяют ей изги-

баться в поперечном направлении и защищают материал от сваливания в сторону.

При использовании лопастных мешалок из агрегатов питания материалы поступают в сушильный барабан (рис. 44), где просушиваются и нагреваются до температуры, указанной в табл. 33.

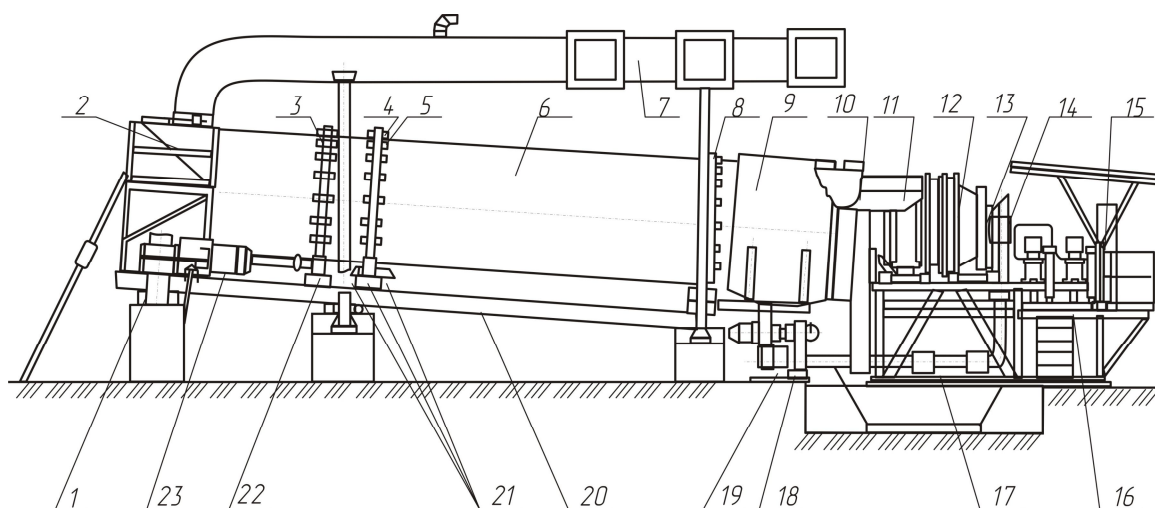


Рис. 44. Сушильный барабан: 1 – редуктор; 2 – загрузочный короб с дымовой коробкой; 3 – зубчатый венец; 4, 8 – опорные бандажы; 5 – температурные компенсаторы; 6 – сушильный барабан; 7 – газоотводящая система; 9 – камера горячего воздуха; 10 – разгрузочный короб; 11 – топка; 12 – зажигательный конус; 13 – подогреватель; 14 – форсунка; 15 – пульт управления; 16 – площадка для персонала; 17 – воздуховод; 18 – вентилятор; 19 – электродвигатель вентилятора; 20 – рама; 21 – упорно-опорные ролики; 22 – ведущая шестерня; 23 – электродвигатель барабана

Если минеральные материалы при поступлении в сушильный барабан имеют высокую влажность, то добиваться полного высушивания их рекомендуется не увеличением температуры в барабане, а уменьшением скорости прохождения материала и, следовательно, увеличением времени пребывания в нем. Горячие газы и мелкие минеральные частицы из сушильного барабана поступают в пылеочистительные установки, которые поставляются в виде готовых модулей. Как правило, установка состоит из предварительного циклонного осадителя и фильтровальной камеры тонкой очистки с установленными там рукавными фильтрами (рис. 45).

Крупные частицы пыли, отсепарированные в предварительном осадителе, шнеком подаются на горячий элеватор. Мелкие частицы (собственный минеральный порошок) улавливаются рукавными фильтрами и периодически стряхиваются на дно фильтровальной ка-

меры, откуда и подаются шнеком в силосный бункер собственного минерального порошка или ковшовый элеватор минерального порошка асфальтосмесительной установки.

Таблица 33

Температура компонентов при приготовлении асфальтобетонной смеси

Марка битума	Температура, °С		
	битума, поступающего в мешалку	минеральных материалов при выходе из сушильного барабана	асфальтобетонной смеси при выпуске из смесителя
БН 40/60	140-150	175-185	150-160
БНД 60/90, БН 60/90	135-145	170-180	145-155
БНД 90/130, БН 90/130	130-140	165-175	140-150
БНД 130/200, БН 130/200	120-130	155-165	130-140
БНД 200/300, БН 200/300	110-120	145-155	120-130
МГ 130/200, МГО 130/200	90-110	125-145	100-120
СГ 130/200	80-100	115-135	90-110
МГ 70/130, МГО 70/130	80-90	115-125	90-100
СГ 70/130	80-90	110-125	80-100

Примечание. При использовании ПАВ или активированных минеральных порошков температуру готовых асфальтобетонных смесей при выпуске из смесителя и температуру нагрева минеральных материалов в сушильном барабане снижают на 20 °С.

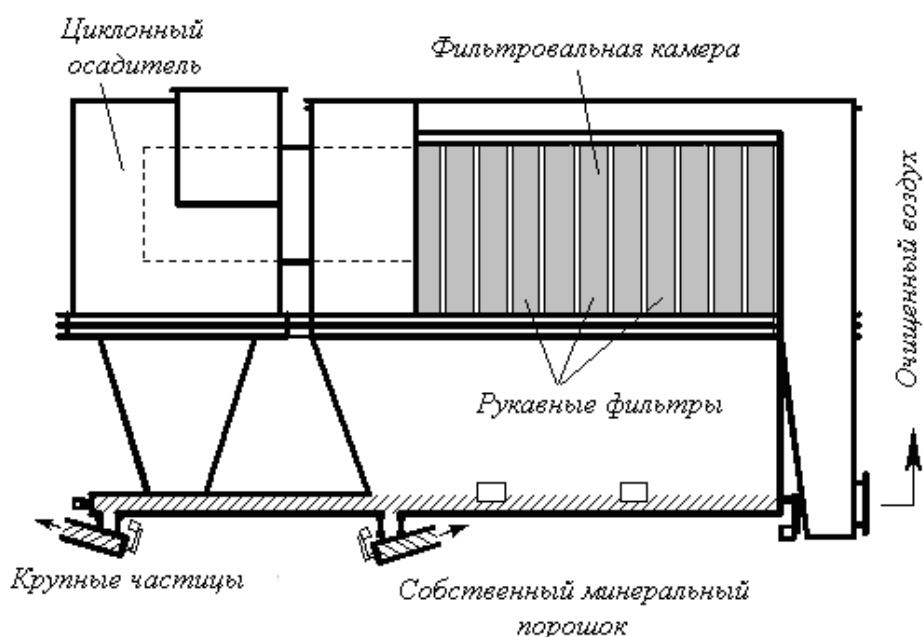


Рис. 45. Пылеочистительная установка

Таким образом, все минеральные частицы, уловленные пылеочистительной установкой, возвращаются обратно в технологический процесс производства асфальтобетонной смеси в качестве мелкого заполнителя и минерального порошка.

Рукавные фильтры пылеулавливающей установки должны иметь оптимальное соотношение расхода проходящих через них газов и площади фильтра. Оптимальным считается соотношение примерно 100:1. Фильтр с такой характеристикой может отвечать самым строгим требованиям в отношении очистки воздуха. Современные пылеочистительные установки улавливают до 99,9% всех пылевидных частиц, т. е. позволяют очистить уходящие из сушильного барабана газы с эффективностью до 2 мг/м^3 .

При работе установки с малой производительностью автоматически снижается энергия привода вытяжного вентилятора, расходуемая на работу трубы, уменьшается скорость газов в сушильном барабане, засасывается и осаждается в рукавном фильтре меньше пыли. Просушенные и нагретые щебень, песок или отсеvy дробления ковшовым элеватором подают к смесительному агрегату, оборудованному сортировочно-дозировочным устройством, в котором происходит разделение материалов по фракциям; каждая фракция размещается в отдельном отсеке бункера (см. рис. 42). Из отсеков осуществляют окончательное пофракционное весовое дозирование.

Минеральный порошок в холодном состоянии подают отдельным элеватором в соответствующий отсек бункера или в отдельный бункер, а из него – в общий весовой дозатор. Если в смесь не вводят минеральный порошок, то температура нагрева минеральных материалов может быть снижена на $15 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Битум, используемый для приготовления смесей, должен быть обезвожен и нагрет до температуры, указанной в табл. 33 (рис. 46). При необходимости в битум вводят ПАВ или разжижитель.

За рубежом, а в последнее время и в нашей стране не применяют склады битума ямного типа. Доставка его потребителям осуществляется в основном автомобильным транспортом (битумовозами). Хранится битум в резервуарах с жидкостным или электрическим обогревом. Для нагрева битума до рабочей температуры, поддержания ее в расходных емкостях, обогрева битумо- и топливопроводов используют специальные теплообменные устройства с прямым или косвенным обогревом.

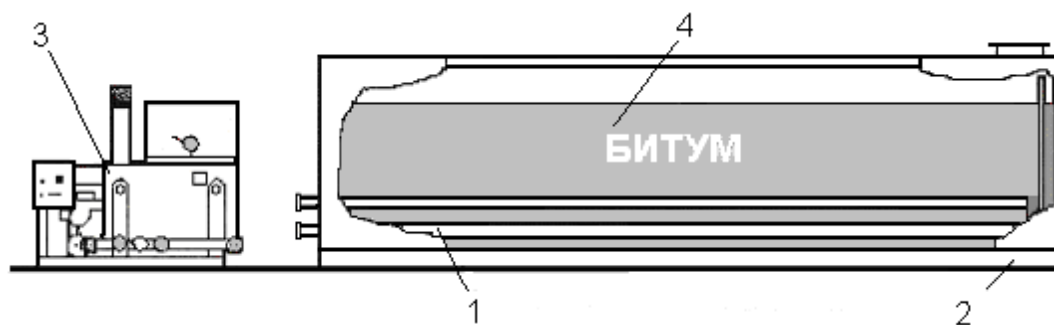


Рис. 46. Расходная емкость битума: 1 – теплообменные устройства; 2 – теплоизоляция; 3 – установка для разогрева минерального масла; 4 – разогреваемый битум

При прямом обогреве применяют жаровые трубы, нагреваемые горячими газами, которые образуются при сжигании жидкого или газообразного топлива, либо различные электронагреватели. При косвенном обогреве применяют промежуточный теплоноситель, в качестве которого обычно используют водяной пар или минеральные масла. Прямой разогрев вязущего наиболее прост с точки зрения переноса тепла, но не всегда экономичен и часто уступает косвенному.

Минеральные масла (компрессорное, авиационное, цилиндровое, трансформаторное и т. п.) обеспечивают высокую температуру кипения при атмосферном давлении, что дает возможность создавать простые и надежные в эксплуатации нагревательные устройства, осуществлять мягкий равномерный и интенсивный нагрев, тщательно регулировать температуру, предотвращать опасность размораживания системы. При их применении один источник тепла может обслуживать несколько потребителей.

В нашей стране в качестве жидкого теплоносителя на АБЗ применяются в основном минеральные масла типов ИС-20, ИС-40, ИС-50, рабочая температура которых находится в пределах 160 – 180 °С (что недостаточно для нагрева битума до рабочей температуры), и специальные теплоносители, к которым относятся ароматизированное масло АМТ-300, дитолилметан (ДТМ), моноизопропилдифенил и др.

За рубежом большое распространение получили теплоносители: W-250, Мобильтерм-600 (аналогичен нашему АМТ-300), Мобильтерм-Лихт, Термальоль (Германия), Тетраарилсиликат (Англия), Канехлор-400 (Япония), Жидкость-37, Терессо-56, Терессо-120 (Ита-

лия), Спиракс-80ЕП (Финляндия) [34]. Основные технические параметры некоторых теплоносителей даны в прил. 5.

Общими достоинствами систем с косвенным обогревом являются возможность нагрева битума при любом его уровне в цистерне, полное исключение опасности коксования, возможность полной выработки емкости резервуара. Жидкие теплоносители используются для обогрева различного оборудования: битумных емкостей, накопительных бункеров, днища и корпуса мешалок, битумного дозатора и насоса, арматуры, битумопроводов, емкостей, битумовозов и агрегатов для разогрева тарного битума. Однако продолжительность разогрева вяжущего в резервуарах с косвенным обогревом значительно больше, чем в системах с прямым обогревом.

Автоматические устройства обеспечивают работу нагревателей без надзора во время простоя завода, например, ночью, когда нужно нагреть вяжущее для работы днем. Основные технические характеристики нагревателей жидких теплоносителей фирм Astec, Cartem и Bernardi даны в прил. 6 [34]. Выпускаемые установки для нагрева жидких теплоносителей можно разделить по способу нагрева теплоносителя – огневые и электрические и по компоновке с основным технологическим оборудованием – специальные (объединенные с обогреваемой цистерной) и автономные.

Из рабочего котла битум поступает в весовой или объемный дозатор, установленный на смесителе. Отдозированные щебень, песок и минеральный порошок из весового бункера поступают в смеситель, где перемешиваются между собой («сухое» перемешивание); затем в смеситель под давлением вводят отдозированный битум и перемешивают его с минеральными составляющими («мокрое» перемешивание).

ПАВ, вводимый на поверхность минеральных материалов, дозируют отдельным дозатором и подают в смеситель в конце «сухого» перемешивания; на перемешивание ПАВ с минеральными материалами отводят 20 – 30% времени «мокрого» перемешивания, после чего вводят отдозированный битум и окончательно перемешивают всю смесь. Продолжительность перемешивания смеси определяется техническими данными смесительной установки и должна обеспечивать равномерное распределение всех его компонентов и наиболее полное обволакивание поверхности минеральных зерен битумом.

Температура готовых асфальтобетонных смесей при выходе из смесителя приведена в табл. 33. Приготовленную смесь из смесителя

выгружают в накопительный бункер или в автомобиль-самосвал для транспортирования его к месту укладки или хранения (для холодных асфальтобетонных смесей). В настоящее время зарубежные и отечественные производители предоставляют широкий выбор асфальтосмесительных установок с различной производительностью, компоновкой и стоимостью. Технические характеристики зарубежных и отечественных асфальтосмесительных установок приведены в прил. 4 [34]. Практически все установки оснащены дополнительным оборудованием для переработки сфрезерованного асфальтобетона.

Большинство асфальтосмесительных установок имеют компоновку башенного типа. В этом плане интерес представляют асфальтосмесительные установки типа М-РАСК. Фирма Astec (США) выпускает асфальтосмесительные установки типа М-РАСК с коаксиальным барабаном смесителя, имеющим принципиальные отличия от других известных до настоящего времени конструкций (рис. 47).

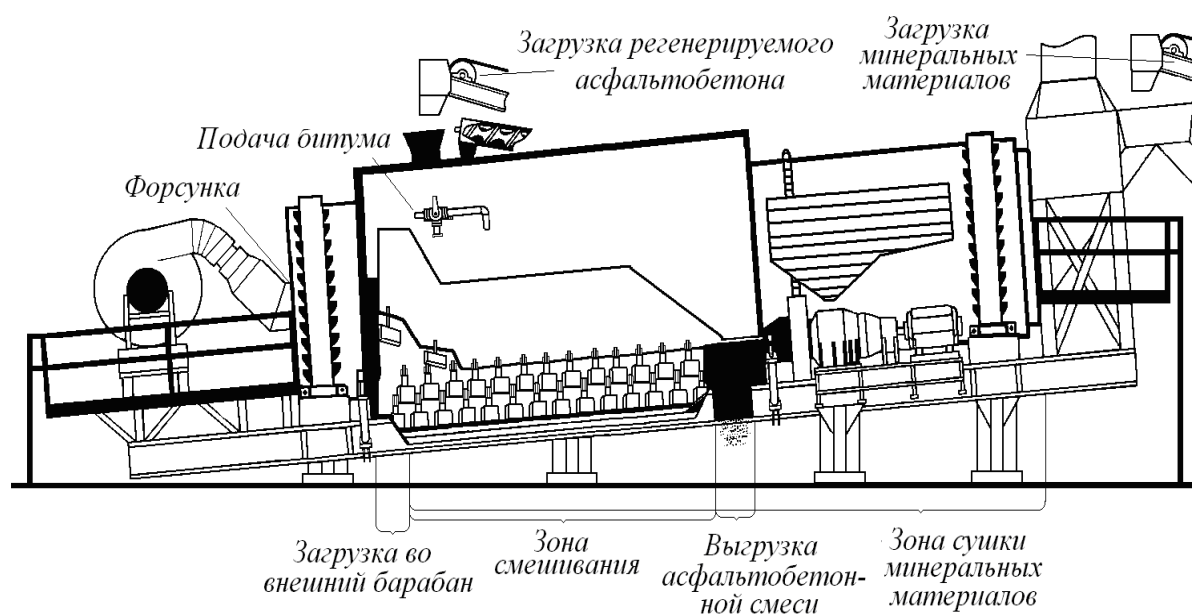


Рис. 47. Асфальтосмесительная установка типа М-РАСК фирмы Astec

В установках этого типа разработчикам удалось объединить преимущества передвижных и стационарных установок при сохранении высокого качества перемешивания смесей, которое ранее достигалось только в установках башенного типа с лопастными мешалками, работающими по традиционной технологии.

Установки типа М-РАСК выпускаются производительностью 109, 163, 245, 317 и 408 т/ч. Они могут быстро перебазироваться на

новое место. Все элементы оборудования выполнены блочной (модульной) конструкции и быстро монтируются. Электрические кабели соединяются с помощью штепсельных разъемов. При этом заглубленные фундаменты делаются только для накопительных бункеров, остальное оборудование может монтироваться на забетонированной площадке.

Время полного монтажа с момента поставки оборудования – не более трех недель. Перебазирование блоков осуществляется с помощью трейлеров. Основной отличительной особенностью установки М-РАСК является двухбарабанный сушильно-смесительный агрегат, который, сохраняя преимущества лопастных смесителей, позволяет перерабатывать до 50% сфрезерованного асфальтобетона.

Сушильно-смесительный агрегат представляет собой два барабана коаксиальной конструкции. Внутренний барабан выполнен по классической схеме с противоточным обогревом. Внешний неподвижный барабан используется как смеситель. В коаксиальном зазоре внутреннего и наружного барабанов смонтированы лопасти смесителя. Каменные материалы после прохода по внутреннему барабану через специальные отверстия в нем попадают в зону перемешивания между внутренним и наружным барабанами. В эту же зону подаются битум и минеральный порошок. Готовая смесь непрерывно выходит из зоны смешения и подается в накопительные бункера.

Повышение точности дозирования материалов в агрегате питания достигается изменением скорости ленты дозаторов. При этом скорость ленты контролируется тахометрами, показания которых выведены на пульт управления. С целью повышения точности дозирования в наклонном транспортёре, подающем материалы в сушильный барабан, установлены тензометрические весы.

Сушильно-смесительные барабаны установки М-РАСК в зависимости от пожелания заказчиков комплектуются форсунками для сжигания мазута, легких жидких топлив (типа дизельного) или газа. Бункера для длительного хранения асфальтобетонных смесей поставляются в виде отдельных силосов вместимостью 90, 135, 180 т или в виде объединенных блоков из двух или трех силосов. Благодаря наличию масляных гидравлических затворов и отсутствию доступа воздуха смесь может храниться в них в течение нескольких дней. В состав установки М-РАСК входят автомобильные весы различных типоразмеров длиной от 12 до 43 м с числом весовых платформ от 2 до 5. Весы монтируются без специальных заглубленных фундаментов на забетонированной площадке.

Из отечественных асфальтосмесительных установок представляет интерес установка НС-100 (рис. 48) производительностью 100 т асфальтобетонной смеси в час. Установка изготовлена в г. Омске ЗАО «Номбус».

10.2. Хранение асфальтобетонных смесей в накопительных бункерах

Накопительный бункер является временным складом для хранения готовых горячих асфальтобетонных смесей. Накопительные бункера в составе асфальтобетонного завода обеспечивают ритмичность выпуска асфальтобетонных смесей независимо от наличия транспортных средств, изменения режимов укладки и погодных условий.

Все это позволяет сократить время загрузки автомобилей и повысить производительность АБЗ. Однако при хранении смесей в накопительном бункере и при транспортировании их к месту укладки происходит старение битума, проявляющееся в повышении его хрупкости и снижении пластичности. В результате ухудшаются удобоукладываемость и уплотняемость асфальтобетонных смесей, снижается трещино-, водо- и морозостойкость асфальтобетонных покрытий.

Интенсивность старения битума при хранении асфальтобетонной смеси в накопительном бункере и в процессе транспортирования зависит от температуры и времени хранения смеси, ее состава и свойств битума. В полностью заполненном бункере с плотной крышкой хранение смесей возможно в течение 24 ч и более без изменений свойств битума. Поэтому одной из мер увеличения срока хранения является, возможно, большая степень наполнения бункера смесью и его герметизация для ограничения доступа кислорода (рис. 49 – 51).

По продолжительности хранения накопительные бункера делятся на бункера для кратковременного хранения смесей (до 12 ч) и бункера с системой обогрева, в которых смесь может храниться в течение нескольких дней. Конструктивно эти бункера различаются системой теплоизоляции, специальными устройствами для герметизации объема и иногда введением инертных газов для предотвращения старения битума.

Бункера для длительного хранения смеси поставляются в виде отдельных силосов или в виде батарей из двух или трех силосов. Емкость силоса составляет от 100 до 600 т.

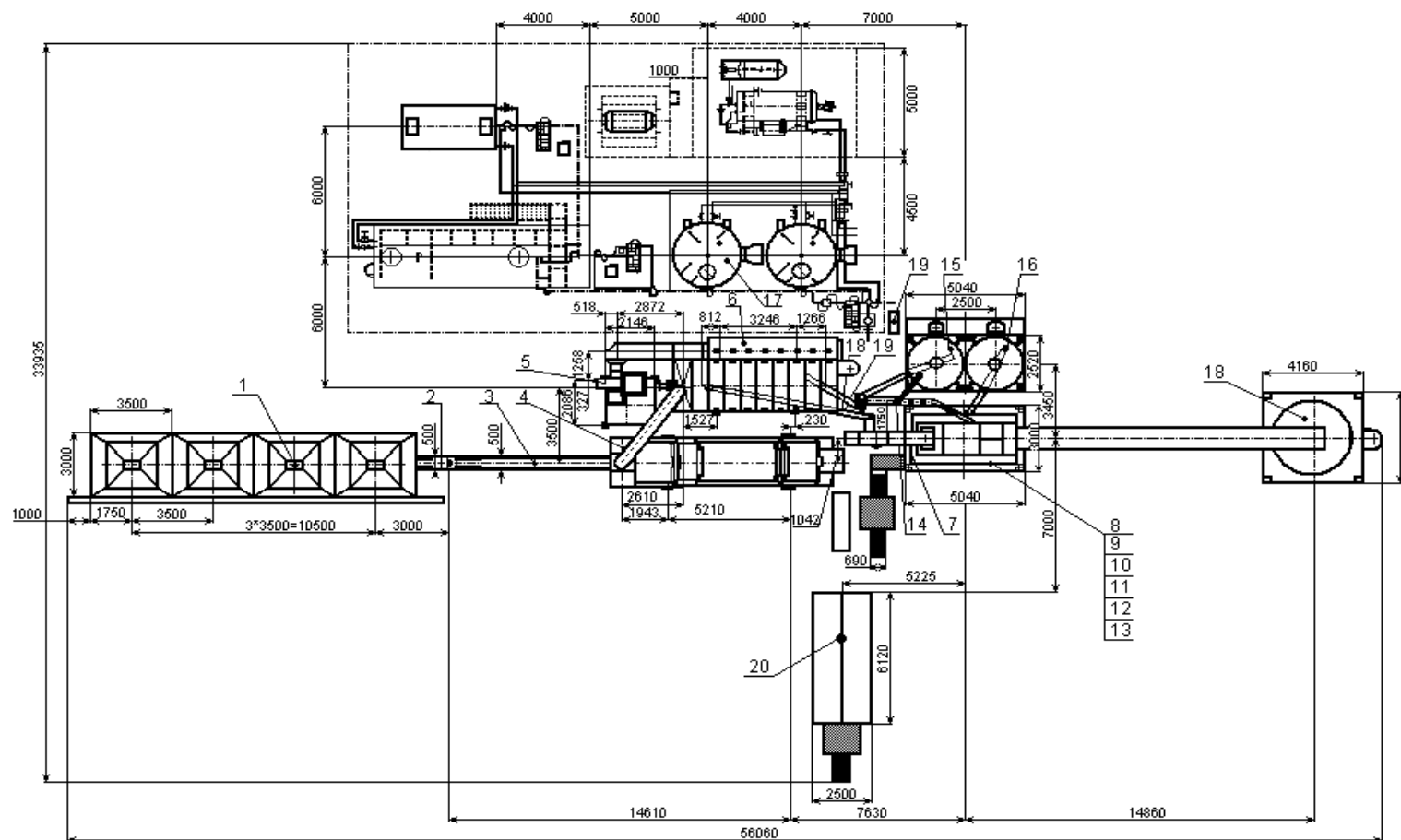


Рис. 48. План размещения оборудования асфальтосмесительной установки НС-100: 1 – бункер-питатель; 2 – ленточный собирающий конвейер; 3 – ленточный конвейер для подачи материала в сушильный барабан; 4 – сушильный барабан; 5 – дымосос; 6 – фильтр рукавный; 7 – элеватор ковшовый; 8 – грохот; 9 – бункер горячих инертных материалов; 10 – дозатор минерального материала; 11 – дозатор минерального порошка; 12 – дозатор битума; 13 – смеситель лопастной; 14 – ковшовый элеватор рекуперированной пыли; 15 – бункер рекуперированной пыли; 16 – бункер минерального порошка; 17 – битумное хозяйство; 18 – бункер для хранения готовой смеси; 19 – пневматическая система; 20 – кабина управления

Конструкция силосов предотвращает химическую реакцию асфальтобетонной смеси с кислородом воздуха, т.е. окисление, которое ведет к ее старению. Вверху и внизу силосы герметизированы для исключения попадания в них свежего воздуха.

Герметизация силоса сверху производится с помощью плоской заслонки (см. рис. 49).



Рис. 49. Верхняя герметизирующая заслонка

Во время длительного хранения смеси заслонка закрыта. Заслонка имеет пневматический привод, ее 100%-ная герметизация по отношению к внешнему воздуху осуществляется масляным уплотнением, которое нужно обновлять только один раз в день.

При работе асфальтосмесительных установок непрерывного действия скребковые конвейеры непрерывно подают асфальтобетонную смесь в силос. Это ведет к образованию насыпного конуса из смеси, а затем и к ее расслоению.

Для предотвращения расслоения смеси при загрузке силоса устраивается герметизированный буферный бункер, расположенный в изолированном и герметизированном корпусе (см. рис. 50).

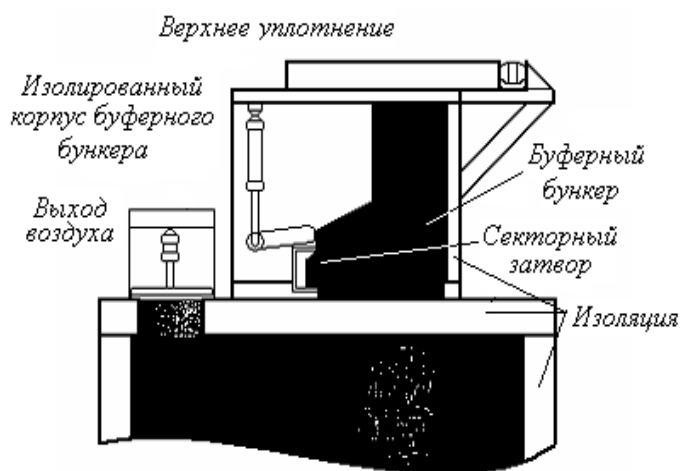


Рис. 50. Буферный бункер

При этом достигается эффект сплющивания, т.е. не образуется насыпной конус, который в последующем ведет к расслоению смеси. Точное управление работой затвора буферного бункера предотвращает неконтролируемый сброс смеси в силос непосредственно со скребкового конвейера.

Он подает ее в силос порциями и закрывается до полного опустошения бункера. Благодаря этому вся смесь может попасть в силос только через этот бункер. Буферный бункер с порционной выдачей смеси на силосах для ее длительного хранения оборудован сдвоенным затвором. Он открывается только тогда, когда уровень смеси в бункере достигает минимальной отметки и подается соответствующий сигнал на автоматику управления. Через заданное время затвор снова закрывается.

В качестве дополнительного предохранителя в бункере установлен зонд, который автоматически открывает затвор при достижении максимального уровня смеси. Заслонка приводится в действие пневмоцилиндром. Если во время хранения смесь выдается из силоса, то на нее сразу же подается соответствующий сигнал и она открывается.

При закрывании затвора на силосе и окончании выдачи смеси заслонка закрывается. Хорошая изоляция важна для снижения излучения тепла. Она сохраняет температуру смеси почти постоянной. Верхнюю часть силоса покрывают непрессованной гибкой рулонной изоляцией толщиной до 300 мм. Для боковых стенок использована изоляция толщиной до 150 мм. Разгрузочная воронка имеет изоляцию толщиной до 200 мм (см. рис. 51).

Конусное днище должно препятствовать расслоению смеси. Исследования показали, что наклон стенок конуса 66° обеспечивает равномерное стекание смеси по конусу как единой массы. Этот поток массы проходит практически без какого-либо ее расслоения.

Неподогреваемые конические днища силосов неизбежно ведут к большим потерям тепла. Поэтому часто используют подогрев днища на всех силосах для длительного хранения смеси.

Нижняя часть конуса при этом нагревается подаваемым насосом жидким теплоносителем, который течет по каналам, приваренным к нему. Конус при этом гарантирует равномерную выгрузку смеси из силоса без нарушения ее структуры. Вместо жидкого теплоносителя можно использовать также электронагрев.

Разгрузочное отверстие герметизировано в отношении воздуха масляной ванной, которая расположена в шахте внутри конуса.

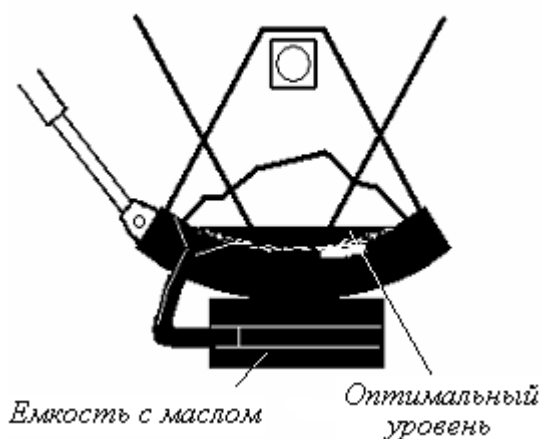


Рис. 51. Разгрузочный конус

Во время, когда конус закрыт при длительном хранении смеси, уровень масла поднимается выше уровня разгрузочного отверстия. Масло хранится в баке под затвором и при необходимости вытесняется в шахту сжатым воздухом. Перед открыванием отверстия масло стекает обратно в бак. Под накопительным бункером устанавливают автомобильные весы. Весы подключены к компьютеру, который ведет учет отгружаемой асфальтобетонной смеси и печатает накладные. С учетом возможных потерь времени по техническим и метеорологическим причинам минимум емкости накопительного бункера можно принять равным часовой производительности завода.

Хранение и транспортирование холодных асфальтобетонных смесей

Холодные асфальтобетонные смеси после приготовления транспортируют на склад, расположенный на АБЗ или трассе. Площадка и склады, предназначенные для хранения смесей, должны быть хорошо спланированы, очищены и обеспечены водоотводом. Перед складированием в штабель смесь охлаждают до температуры 30 – 40 °С перекидкой с помощью экскаватора или погрузчика. Во избежание слеживаемости смеси высота штабеля должна быть, как правило, не более 2 м. В тех случаях, когда смесь характеризуется малой слеживаемостью (показатель не более 3 – 5 ударов) или предназначена для хранения в течение не более 1 – 1,5 месяцев, высоту штабеля можно увеличить до 3 – 3,5 м.

Продолжительность хранения смесей зависит от вида применяемого битума: 2 недели – для смесей, приготовленных с использованием битумов марок СГ 130/200, МГ 130/200 и МГО 130/200; 4 месяца – для смесей, приготовленных с использованием битумов марки СГ 70/130; 8 месяцев – для смесей, приготовленных с использованием битумов марок МГ 70/130 и МГО 70/130. Холодные асфальтобетонные смеси можно транспортировать автомобильным, железнодорожным и водным транспортом. При погрузке смесь должна быть рыхлой и иметь температуру не выше 40 °С летом и 25 °С зимой, горячие асфальтобетонные смеси можно перевозить только автомобилями на расстояние не более 50 км.

Контроль качества работ

При приготовлении асфальтобетонной смеси контролируют: качество всех компонентов, температурный режим подготовки битума, температуру нагрева минеральных материалов, температуру готовой асфальтобетонной смеси, качество готовой смеси.

Следует разделять входной, операционный и приемочный контроль. При входном контроле устанавливают соответствие качества исходных материалов каждой поступающей на АБЗ партии стандартам. Операционный контроль осуществляют не реже 1 раза в 10 смен, определяя зерновой состав щебня (гравия), песка, материалов из отсевов дробления и минерального порошка, содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне (гравии) и песке, влажность неактивированного минерального порошка и порошковых отходов промышленности, гидрофобность активированного минерального порошка. Для испытаний отбирают пробы со склада.

Контролируя качество битума, определяют глубину проникания иглы при 25 °С и температуру размягчения вязкого битума или вязкость жидкого битума. Для испытания отбирают пробы из каждого рабочего котла или битумоплавильных установок непрерывного действия (1 раз в смену). При приготовлении разжиженного битума на АБЗ проверяют точность дозирования и последовательность загрузки в котел исходных материалов в соответствии с подобранным в лаборатории составом. Кроме того, проверяют температуру нагрева битума через каждые 2 – 3 ч в котлах; в битумоплавильных установках непрерывного действия температуру битума контролируют в отсеке готового битума.

Для приемочного контроля качества готовой асфальтобетонной смеси отбирают одну пробу от каждой партии. Партией считается количество смеси одного состава, выпускаемое на одной установке в течение смены: не более 600 т – горячих смесей, 200 т – холодных. При изменении состава асфальтобетонной смеси и во всех недостаточно ясных и спорных случаях берут дополнительные пробы. Температуру асфальтобетонных смесей контролируют в кузове каждого автомобиля непосредственно после выпуска смесей из смесителя.

При выполнении приемосдаточных испытаний смесей отбирают по ГОСТ 12801 одну объединенную пробу от партии и определяют:

- температуру отгружаемой смеси при выпуске из смесителя или накопительного бункера;
- зерновой состав минеральной части смеси;
- водонасыщение для всех смесей;
- предел прочности при сжатии при температуре 50, 20 °С и водостойкость для горячих смесей;
- предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, в том числе в водонасыщенном состоянии, и слеживаемость (2 – 3 раза в

смену) для холодных смесей. Вышеуказанные показатели для холодных смесей определяют до прогрева.

Показатели физико-механических свойств должны соответствовать требованиям, предъявляемым ГОСТ 9128 к данному виду асфальтобетона. Зерновой состав и содержание битума рекомендуется определять одним из ускоренных способов, приведенных в ГОСТ 12801. Помимо этого, для контроля зернового состава минеральной части рекомендуется отбирать «сухие» замесы из смесителя, т.е. смесь минеральных материалов без битума. Перемешанные материалы из смесителя выгружают в кузов автомобиля-самосвала, откуда берут пробы по 0,5 кг в пяти-шести местах; эти пробы перемешивают, охлаждают до температуры 20 °С и из общей пробы берут среднюю массой 1 кг, для которой определяют зерновой состав способом «мокрого» отсева.

Слеживаемость холодных асфальтобетонных смесей рекомендуется определять через каждые 2 – 3 ч в течение смены, складировать холодные смеси в штабель для хранения следует только после получения удовлетворительных результатов по этому показателю.

При периодическом контроле качества смесей определяют:

- пористость минеральной части;
- остаточную пористость;
- водостойкость при длительном водонасыщении;
- предел прочности при сжатии: при температуре 20 °С – после прогрева и после длительного водонасыщения для холодных смесей, при температуре 0 °С – для горячих смесей;
- сцепление битума с минеральной частью смесей;
- сдвигоустойчивость и трещиностойкость при условии наличия этих показателей в проектной документации;
- однородность смесей.

Удельную эффективную активность естественных радионуклидов в смесях и асфальтобетоне принимают по максимальной величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов, содержащихся в применяемых минеральных материалах. Эти данные указывает и документ о качестве предприятия-поставщика.

В случае отсутствия данных о содержании естественных радионуклидов изготовитель силами специализированной лаборатории осуществляет входной контроль материалов в соответствии с ГОСТ 30108. Периодически контроль осуществляют не реже 1 раза в месяц и при изменении исходных материалов. Если в результате приемочного контроля выявлено несоответствие показателей физико-механических свойств асфальтобетонных смесей и показателей,

полученных при подборе, то проверяют свойства всех исходных материалов, состав смеси, технологический процесс ее приготовления и производят корректировку состава.

10.3. Укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей

Строительство верхнего слоя покрытия из горячей асфальтобетонной смеси включает в себя ряд технологических процессов, которые должны быть выполнены в течение либо одной смены, либо ее части (до обеденного перерыва или после него) [33].

Технологический процесс состоит из отдельных рабочих операций. *Рабочая операция* – простейшая технологически однородная, организационно неделимая строительная работа (например, разравнивание песка, распределение щебня, уплотнение слоя дорожной одежды), характерная несменяемостью средств производства (машин) и материалов. Комплексный технологический процесс строительства асфальтобетонного покрытия состоит из:

- доставки с завода на место работы горячей смеси;
- разгрузки ее в бункера распределителей и асфальтоукладчиков;
- распределения по основанию с предварительным уплотнением трамбующим брусом;
- россыпи щебня для втапливания;
- окончательного уплотнения покрытия с втопленным катками щебнем;
- контрольной проверки качества и температуры смеси, степени уплотнения и геометрических размеров.

Строительство автомобильных дорог характерно тем, что на сравнительно узкой полосе примерно однотипные работы распределены на большом протяжении. Все строительные подразделения перемещаются один за другим, поэтому способ работ назван *поточным*. Поточный способ характеризуется также тем, что все подразделения постепенно продвигаются вперед и по мере завершения работ на ее участках их вводят в эксплуатацию до окончания строительства дороги в целом.

Работы по строительству дорожных одежд в основном организуют по поточному комплексно-механизированному способу, при котором все машины выполняют отдельные рабочие операции или их группы непрерывно в технологической последовательности, сдавая полностью законченный участок покрытия или одежды через определенные промежутки времени – одну, две, три смены. Участок дороги, на котором специализированное звено выполняет

данный рабочий процесс или их технологически неразделимый комплекс, называют *захваткой*. В течение рабочей смены это звено выполняет одну или несколько технологически связанных операций на участке дороги, называемом *сменной захваткой*.

Строительство отдельных элементов современных дорожных одежд, например дополнительного слоя основания, основания или покрытия, выполняет *частный поток*. Совокупность частных потоков, объединенных в целях строительства дорожной одежды, называют *специализированным потоком*. Например, специализированный поток для строительства дорожной одежды с однослойным асфальтобетонным покрытием на щебеночном основании с песчаным дополнительным слоем может состоять из трех частных потоков (рис. 52).

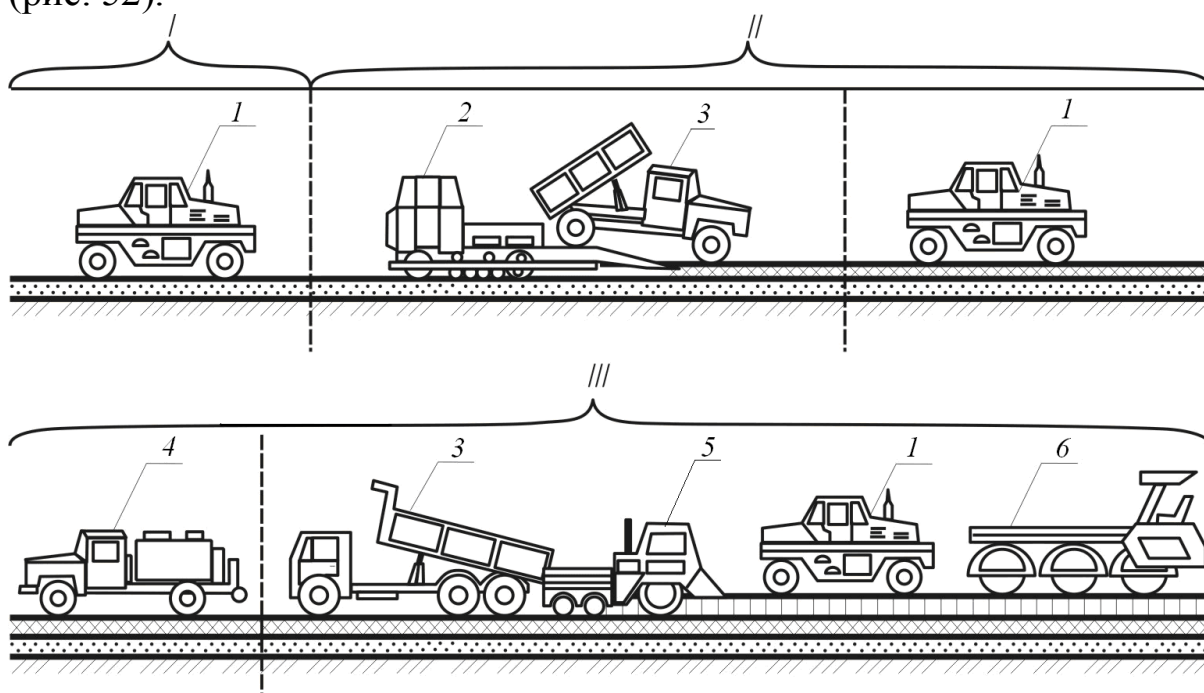


Рис. 52. Специализированный поток по строительству дорожной одежды:
 / – /// – частные потоки; 1 – каток на пневмошинах; 2 – распределитель
 дорожно-строительных материалов; 3 – автомобиль-самосвал;
 4 – автогудронатор; 5 – асфальтоукладчик; 6 – трехвальцовый каток

Сменная производительность частного потока определяется скоростью его прохождения в смену, т.е. протяженностью сменной захватки. Если при строительстве покрытий асфальтобетонный завод обслуживает только один объект, длину сменной захватки, а соответственно и скорость всего потока исчисляют исходя из производительности машин в звене.

Возможны случаи установления длины захваток с учетом сменной производительности производственных предприятий, например асфальтобетонного завода.

Подготовительные работы

Перед началом укладки асфальтобетонных смесей необходимо провести подготовительные работы. Конструктивный слой дорожной одежды, на который предстоит укладывать асфальтобетонную смесь, должен быть устроен согласно СП 78.13330.2012 [36], уплотнен до нормируемой плотности и иметь требуемую ровность поверхности. Если на поверхности слоя имеются значительные неровности, то необходимо устраивать выравнивающий слой из асфальтобетона или других материалов, обработанных органическими вяжущими.

Для обеспечения сцепления укладываемого слоя асфальтобетонной смеси с нижележащим последний очищают от пыли и грязи механическими щетками, сжатым воздухом от передвижного компрессора или другими средствами. Не позднее чем за 6 ч до начала укладки асфальтобетонной смеси нижележащий слой обрабатывают (подгрунтовывают) органическим вяжущим: битумной эмульсией [39], жидким или вязким битумом. Предпочтение следует отдавать маловязким вяжущим (битумной эмульсии и жидкому битуму), обеспечивающим образование более равномерной пленки на поверхности и лучшее сцепление слоев. Розлив вяжущего производят автогудронаторами на ширину укладываемой полосы.

Для подгрунтовки 1 м² слоя из необработанных минеральных материалов расходуется 0,5 – 0,8 л битума, а слоя из асфальтобетона – 0,2 – 0,3 л. Если отклонения от ровности основания превышают допускаемые значения, то заблаговременно строят выравнивающий слой на неровных местах из того же материала, что и основание, или из асфальтобетонной смеси. При реконструкции дороги в качестве основания часто используют старые покрытия. В этих случаях исправляют дефекты покрытия, на заниженных местах в поперечном или продольном профиле укладывают выравнивающий слой из пористой асфальтобетонной смеси.

Организация работ

Покрытия и основания из асфальтобетонных смесей устраивают в сухую погоду. Укладку горячих и холодных смесей следует осуществлять весной и летом при температуре окружающего воздуха, как правило, не ниже 5 °С, осенью – не ниже 10 °С. Допускается укладка горячих асфальтобетонных смесей и при более низких температурах (от 5 до 0 °С), но преимущественно в нижние слои двухслойных покрытий.

Чтобы обеспечить формирование покрытий из холодных асфальтобетонных смесей, организация работы должна предусматри-

вать завершение их укладки за 15 дней до начала характерного для региона строительства периода осенних дождей. Формирование слоя из холодных смесей с активированными минеральными материалами происходит более интенсивно, поэтому указанное выше ограничение на них не распространяется.

Для устройства асфальтобетонного покрытия должны быть организованы механизированные звенья, в которые входят самоходный асфальтоукладчик, моторные катки, вспомогательные машины и приспособления (дорожные щетки, передвижные битумные котлы, передвижная электростанция и т.п.). Состав звена зависит от скорости потока и вида асфальтобетонной смеси. Асфальтобетонную смесь как для нижнего, так и для верхнего слоев подают непрерывно, благодаря чему новая смесь хорошо соединяется с уложенной ранее, снижаются простои и повышается производительность асфальтоукладчиков. Простой автомобилей-самосвалов на месте разгрузки нежелателен, так как смесь слеживается в кузове и с трудом выгружается. Количество автомобилей-самосвалов назначают в зависимости от производительности асфальтоукладчика и АБЗ, дальности и скорости транспортирования смеси, продолжительности загрузки и грузоподъемности.

При перевозке принимают меры сохранения температуры и удобоукладываемости смеси. Наименьшая допускаемая температура смеси при укладке в зависимости от марки битума должна соответствовать указанной в табл. 34.

Таблица 34

**Температура асфальтобетонной смеси при укладке
ее в конструктивный слой**

Марка битума	Температура смеси, °С, не ниже	
	без ПАВ	с ПАВ
БНД 90/130, БН 90/130, БНД 60/90, БН 60/90, БНД 40/60, БН 40/60	120	110
БНД 200/300, БН 200/300, БНД 130/200	80	80
БН 130/200, СГ 130/200, МГ 130/200	80	70

Чтобы смесь не остывала ниже минимально допускаемого предела, ограничивают дальность транспортирования автомобилями-самосвалами асфальтобетонной смеси в зависимости от ее вида, погоды и состояния подъездных дорог. Предельно допускаемая дальность транспортирования горячих смесей в жаркую погоду составляет 40 – 50 км. В прохладную погоду горячие смеси не следует транспортировать далее чем на 20 – 30 км. Для сохранения теплоты кузовов автомобиля-самосвала подогревают выхлопными газами.

Чтобы предупредить прилипание асфальтобетонной смеси к дну и стенкам кузова, кузов перед загрузкой опрыскивают нефтью или мазутом, смешанным с водой, или мыльным раствором.

Укладка асфальтобетонной смеси

Асфальтобетонную смесь как нижнего, так и верхнего слоя покрытия распределяют асфальтоукладчиками. Выбор асфальтоукладчика зависит от типа смеси, толщины слоя, ширины покрытия, темпов строительства (принятой длины захватки). Наиболее эффективно применение широкозахватных асфальтоукладчиков, позволяющих устраивать конструктивный слой дорожной одежды на полную ширину одной полосы (рис. 53). Если ширина укладываемого одним асфальтоукладчиком слоя меньше ширины конструктивного слоя, то работы ведут сопряженными полосами двумя или несколькими укладчиками одновременно. Ширину полосы укладки назначают кратной ширине конструктивного слоя, а разрыв между укладчиками по продольной оси дороги – 20 – 30 м (рис. 54).

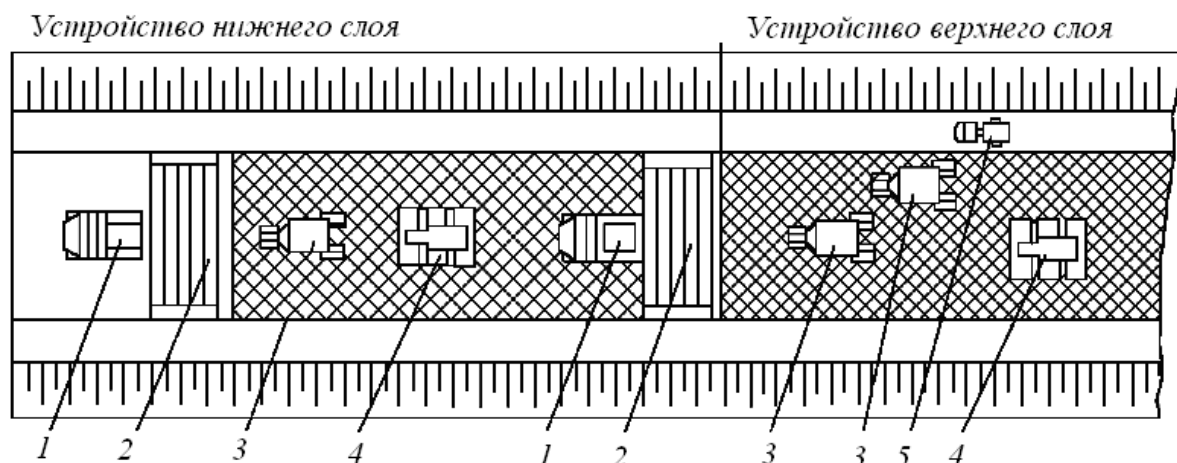


Рис. 53. Технологическая схема устройства двухслойного асфальтобетонного покрытия на проектную ширину при работе в одну смену:

1 – автомобиль-самосвал; 2 – асфальтоукладчик; 3 – каток на пневматических шинах; 4 – каток тяжелый гладковальцовый массой 11–18 т;
5 – поливочно-моечная машина

При незначительных темпах строительства (200 – 300 м/смен) смеси (за исключением типов А и Г) можно укладывать одним асфальтоукладчиком. Ширину полосы укладки назначают кратной ширине покрытия, учитывая размер уширителей асфальтоукладчика. В этом случае смесь укладывают отдельными короткими полосами, поочередно на каждой половине ширины покрытия.

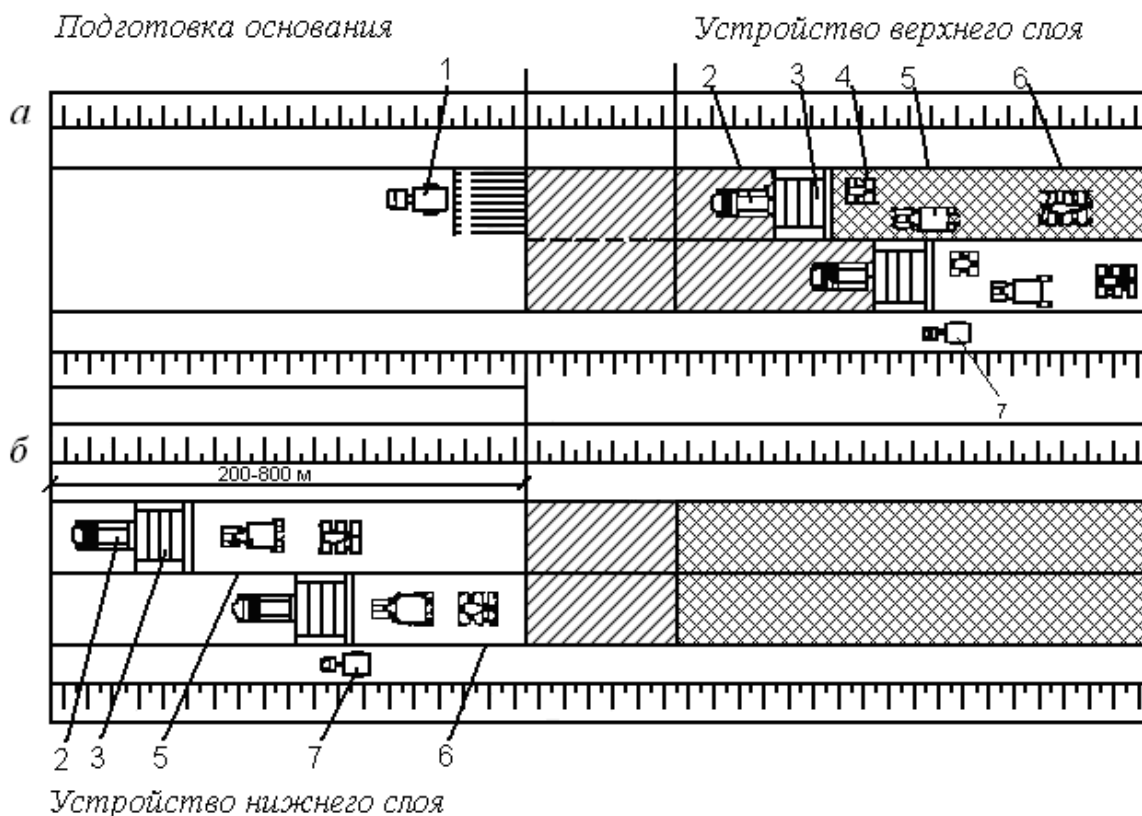


Рис. 54. Технологическая схема устройства двухслойного асфальтобетонного покрытия сопряженными полосами в первую (а) и вторую (б) смены:

- 1 – автогудронатор; 2 – автомобиль-самосвал; 3 – асфальтоукладчик;
 4 – каток гладковальцовый массой 6–8 т; 5 – каток на пневматических шинах; 6 – каток гладковальцовый массой 11 – 18 т;
 7 – поливочно-моечная машина

Уложив одну полосу, переходят (по схеме, показанной на рис. 55) на соседнюю, пока не остыла кромка ранее уложенного слоя. При такой технологии особое внимание обращают на то, чтобы укладываемые полосы покрытия были сопряженными, а образующиеся продольные швы заделаны. В местах сопряжения добиваются полной однородности фактуры покрытия. В противном случае с этих мест, как правило, начинается разрушение покрытия, главным образом по причине недостаточного уплотнения. Для улучшения сопряжения смежных полос длину хода асфальтоукладчика назначают в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра (табл. 35). На очередной полосе горячую смесь укладывают раньше, чем смежная полоса остынет до температуры ниже предельно допускаемой (70 – 80 °С).

При устройстве смежной полосы смесь распределяют слоем, толщину которого назначают с учетом коэффициента уплотнения. Это позволяет получить однородное по плотности готовое покрытие одинаковой толщины.

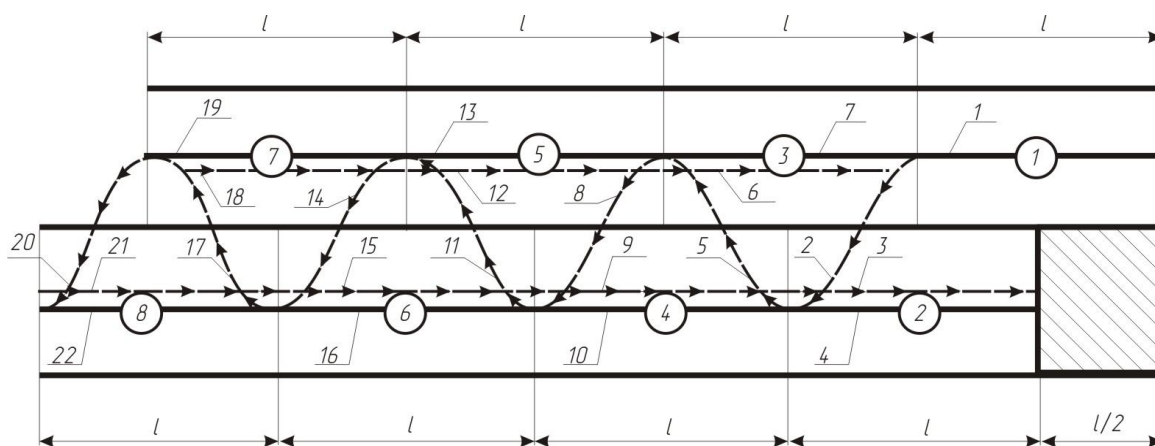


Рис. 55. Схема перехода асфальтоукладчика с полосы на полосу:
 $1 - 22$ – номера переходов; сплошные стрелки – рабочий ход;
 пунктирные – холостой ход асфальтоукладчика; в кружках –
 последовательность участков укладки смеси; l – длина укладываемой полосы

Таблица 35

Длина хода асфальтоукладчика

Температура воздуха при отсутствии ветра, °C	Длина полосы, м	
	на защищенных от ветра, за- строенных и лесных участках, в глубоких выемках	на открытых участках
5 – 10	30 – 60	25 – 30
10 – 15	60 – 100	30 – 50
15 – 25	10 – 150	50 – 80
Более 25	150 – 200	80 – 100

Правильная установка асфальтоукладчика в работу и выдерживание курса движения обеспечивают положение края уплотняющих средств строго над кромкой ранее уложенной полосы покрытия (рис. 56).

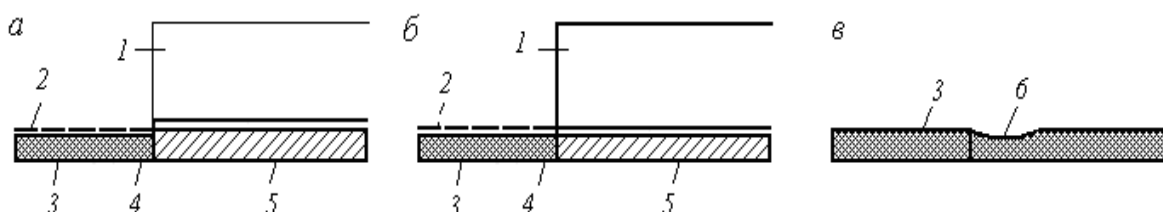


Рис. 56. Положение плиты асфальтоукладчика при распределении смеси на смежной полосе: *а* – правильно; *б* – неправильно; *в* – дефект покрытия;
 1 – плита асфальтоукладчика; 2 – уровень неуплотненного слоя;
 3 – уплотненный слой; 4 – линия сопряжения полос; 5 – неуплотненный слой второй полосы; 6 – дефект покрытия

При распределении смеси одним асфальтоукладчиком качественное сопряжение полос обеспечивается предварительным разогревом края уложенной полосы линейным разогревателем, действие которого основано на использовании тепловой энергии инфракрасного излучения.

При устройстве покрытия с применением линейного разогревателя не уплотняют край шириной 10 – 15 см первой уложенной полосы со стороны сопряжения со смежной полосой (рис. 57, а).

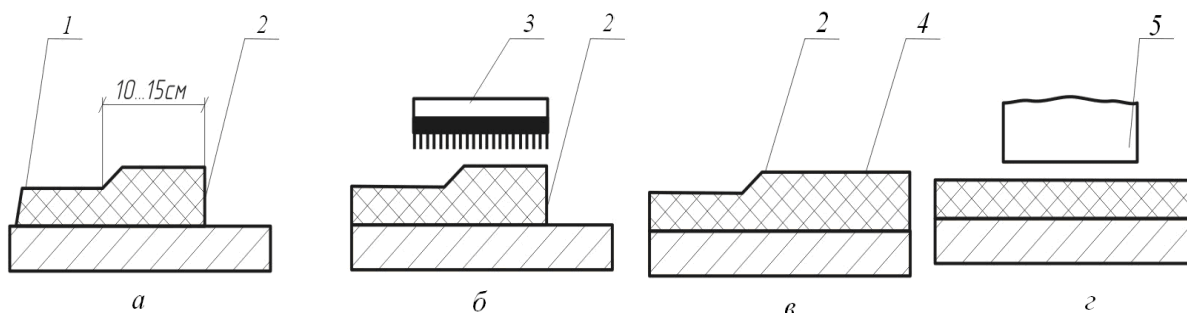


Рис. 57. Сопряжение полос асфальтобетонного покрытия с применением линейного разогревателя: а – уплотненная первая полоса; б – нагревание края (10 – 15 см) первой полосы; в – распределение асфальтобетонной смеси на второй полосе; г – одновременное уплотнение первой и второй полос; 1 – уплотненная первая полоса; 2 – неуплотненный край первой полосы; 3 – нагревание неуплотненного края (10 – 15 см) первой полосы; 4 – распределенная смесь на второй полосе; 5 – каток

Линейный разогреватель перемещают впереди асфальтоукладчика по краю неуплотненного асфальтобетона шириной 10 – 15 см со скоростью, обеспечивающей нагрев асфальтобетона до температуры 80 °С (рис. 57, б). Асфальтобетонная смесь, распределяемая на смежной полосе, соприкасается с разогретым краем ранее устроенной полосы (рис. 57, в) и одновременно подвергается уплотнению (рис. 57, г). В результате обеспечивается качественное сопряжение смежных полос. После прохода асфальтоукладчика на поверхности уложенного слоя не должно быть трещин, раковин, разрывов. Замеченные дефекты необходимо исправить вручную до начала уплотнения слоя катками.

Поперечные сопряжения покрытия должны быть перпендикулярны оси дороги. Края ранее уложенной полосы обрубает (пневмомолотами или перфораторами) вертикально по шнуру и смазывают битумом или битумной эмульсией. Если при работе асфальтоукладчика остается неуложенной узкая полоса на покрытии (например, на виражах и т.п.), то смесь разрешается укладывать вручную (одноре-

менно с асфальтоукладчиком). Кроме того, вручную ведутся работы в местах, не доступных для асфальтоукладчика.

Уплотнение асфальтобетонных смесей

Асфальтобетонные смеси уплотняют сразу же после укладки. Слои из горячих асфальтобетонных смесей следует уплотнять, начиная с той максимально возможной температуры, при которой не образуется деформаций от укатки, что позволит увеличить время эффективного уплотнения и при меньших затратах работы катков достигнуть более высокой плотности и механической прочности асфальтобетона. При использовании асфальтоукладчиков с уплотняющими рабочими органами, создающими высокую степень уплотнения, не требуется уплотнения укаткой смесей типов В и Д, а смеси других типов уплотняют сразу тяжелыми катками.

Температура горячих смесей, содержащих более 40% щебня, должна быть 120 – 160 °С. Уплотнение смесей, содержащих менее 40% щебня, а также песчаных начинают при температуре соответственно на 20 – 30 °С ниже. Применение активированных минеральных порошков и добавок ПАВ позволяет снизить температуру начала уплотнения смеси на 10 – 20 °С. В каждом конкретном случае температуру начала и конца уплотнения горячих смесей устанавливают пробной укаткой. Температура холодных асфальтобетонных смесей при уплотнении должна быть не ниже 5 °С.

В процессе уплотнения слоя катки должны двигаться по укатываемой полосе от ее краев к оси дороги, а затем от оси к краям, перекрывая каждый след на 20 – 30 см. В процессе уплотнения после двух-трех проходов первого катка следует проверять поперечный уклон и ровность покрытия шаблонами – трехметровой или двухопорной рейкой с приспособлением для фиксации неровностей. Скорость движения и количество проходов каждого типа катка должны соответствовать требованиям СП 78.1333. 2012. При укладке смесей вручную или автогрейдером число проходов катков следует увеличить на 20 – 30%.

Выявленные дефекты необходимо немедленно устранять: в заниженные места добавлять смесь, завышенные разрыхлять и излишки смеси убирать. Обнаруженные при первых проходах катков участки с пористой поверхностью и с нарушенной сплошностью слоя должны быть исправлены. Дефектные участки (жирные, сухие места, раковины и т.п.) на покрытии после уплотнения должны быть вырублены, места вырубок тщательно очищены, края смазаны горячим вязким или жидким битумом, заполнены новой асфальтобетонной смесью и уплотнены. Участки, не доступные для катка,

уплотняют металлическими трамбовками, перекрывая предыдущий след от удара трамбовки примерно на 1/3. Уплотнение следует вести до полного исчезновения таких следов. Во избежание раскатывания смеси в конце укатываемой полосы следует поместить упорную доску или рейку.

Контроль качества работ

Перед началом устройства асфальтобетонных конструктивных слоев, а также в процессе работы проверяют плотность и чистоту поверхности нижележащих слоев, а в том случае, когда используют бортовые камни, контролируют также правильность их установки. В каждом автомобиле, прибывающем к месту укладки, измеряют температуру горячей асфальтобетонной смеси; если она ниже, смесь бракуют. В процессе укладки толщину уложенного слоя контролируют металлическим шупом с делениями, а поперечный и продольный уклоны – шаблоном через каждые 100 м. Особое внимание следует уделять контролю качества устройства продольных и поперечных сопряжений.

В процессе уплотнения контролируют соблюдение заданного режима уплотнения смеси, ровность, поперечный и продольный уклоны.

В первый период формирования покрытий из холодных асфальтобетонных смесей следят за правильностью регулирования движения по построенному участку. Контроль качества смеси и плотности слоя осуществляют на пробах (вырубках или кернах), отобранных из конструктивных слоев: при применении горячего асфальтобетона – через 1 – 3 сут, холодного – через 15 – 30 сут после устройства слоя и открытия по нему автомобильного движения.

С каждых 7000 м² асфальтобетонного покрытия отбирают три пробы. При отборе проб измеряют толщину слоев покрытия и визуально оценивают прочность сцепления их между собой и с основанием. Качество смеси устанавливают по показателям свойств, образцов, переформованных из вырубков, а степень уплотнения конструктивных слоев оценивают коэффициентом уплотнения, определяемым по формуле (17).

Коэффициенты уплотнения конструктивных слоев из асфальтобетона должны быть не ниже:

- 0,99 – для плотного асфальтобетона из горячих смесей типов А и Б;
- 0,98 – для плотного асфальтобетона из горячих смесей типов В, Г и Д, пористого и высокопористого асфальтобетонов;
- 0,96 – для асфальтобетона из холодных смесей.

Приемку выполненных работ осуществляют в соответствии с СП 78.1333.2012.

Контрольные вопросы

1. Зачем горячий бункер асфальтосмесительной установки разбит на 5 – 7 отсеков?
2. Зачем устраиваются бункера готовой асфальтобетонной смеси?
3. Как осуществляется обогрев битумопроводов на АБЗ?
4. Как осуществляется контроль качества продукции на АБЗ?
5. Какая температура должна быть при укладке горячего и холодного асфальтобетонов?
6. От чего зависит длина хода асфальтоукладчика?
7. Какие коэффициенты уплотнения у конструктивных слоев дорожной одежды из асфальтобетона?

11. РАЗНОВИДНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ СМЕСИ

Рассмотренные выше асфальтобетоны (полимерасфальтобетоны) и асфальтобетонные (полимерасфальтобетонные) смеси, регламентируемые ГОСТ 9128, не охватывают весь перечень асфальтобетонных смесей, применяемых на практике. Так, он не регламентирует свойства следующих асфальтобетонов:

- щебеночно-мастичного асфальтобетона;
- литого асфальтобетона;
- цветного асфальтобетона и т. д.

Помимо этого в нем отсутствуют специальные требования к органоминеральным смесям. Щебеночно-мастичные и литые асфальтобетоны появились вследствие борьбы дорожных служб с интенсивным разрушением дорожного полотна и образования колеи ввиду массового использования автомобилистами шипованных шин в зимний период. Щебеночно-мастичные асфальтобетоны обладают контактным типом структуры (см. рис. 1, *д*), а литые – базальным типом структуры (см. рис. 1, *а*). В щебеночно-мастичном асфальтобетоне нагрузку воспринимает минеральный остов, состоящий из высококачественного прочного щебня. В отличие от обычных уплотняемых асфальтобетонных смесей литая асфальтобетонная смесь содержит большее количество высоковязкого битума (7,5 – 9,0%) и минерального порошка (до 25%). Минеральная часть в литом асфальтобетоне не образует каркаса из взаимносо-

прикасающихся минеральных зерен, а нагрузку воспринимает асфальтовяжущее вещество.

11.1. Щебеночно-мастичный асфальтобетон

Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь (ЩМАС) – рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня, песка из отсевов дробления и минерального порошка), дорожного битума (с полимерными или другими добавками или без них) и стабилизирующей добавки, взятых в определенных пропорциях и перемешанных в нагретом состоянии [37].

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) – уплотненная щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь.

Стабилизирующая добавка – вещество, оказывающее стабилизирующее влияние на ЩМАС и обеспечивающее устойчивость ее к расслаиванию.

ЩМА состоит из щебеночного каркаса, в котором пустоты между зернами щебня заполнены битумной мастикой, состоящей из смеси битума с дробленным песком, и минеральным порошком. Исходя из концепции ЩМА, контакт между отдельными частицами каменного материала должен отвечать специфическим требованиям, а именно: для получения стабильной структуры должны быть особые требования к внешнему виду каменного материала. Он должен быть обязательно молотый, кубовидной формы и с шероховатой поверхностью.

Шероховатость поверхности имеет решающее значение для вывода воды из-под пятна контакта шины и дорожной поверхности для силы сцепления, возникающей при проникновении резины движущегося колеса в неровности дорожной поверхности. При применении ЩМА возможно получение различных текстур поверхности, т.к. их вид зависит от размера применяемого каменного материала и заполнения мастикой межзернового пространства. Например, применение крупного каменного материала (15 – 20 мм) даст глубину текстуры поверхности 1,5 – 2,0 мм. Таким образом, варьируя размер применяемого каменного материала, можно добиться необходимой шероховатости поверхности.

Основные виды ЩМА

Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси (далее – смеси) и щебеночно-мастичный асфальтобетон (далее – асфальтобетон) в зависимости от крупности применяемого щебня подразделяют на виды:

ЩМА-20 – с наибольшим размером зерен до 20 мм;
 ЩМА-15 – с наибольшим размером зерен до 15 мм;
 ЩМА-10 – с наибольшим размером зерен до 10 мм.

Технические требования

Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов должны соответствовать указанным в табл. 36.

Таблица 36

Зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов для верхних слоев покрытий

Вид смесей и асфальто- бетонов	Размер зерен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,075
ЩМА-10	–	–	100-90	40-30	29-19	26-16	22-13	20-11	17-10	15-10
ЩМА-15	–	100-90	60-40	35-25	28-18	25-15	22-12	20-10	16-9	14-9
ЩМА-20	100-90	70-50	42-25	30-20	25-15	24-13	21-11	19-9	15-8	13-8

Примечание. При приемосдаточных испытаниях допускается определять зерновые составы смесей по контрольным ситам в соответствии с данными, выделенными жирным шрифтом.

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов, применяемых в конкретных дорожно-климатических зонах, должны соответствовать указанным в табл. 37.

Таблица 37

Показатели физико-механических свойств ЩМА

Показатель	Значение показателя для дорожно-климатических зон		
	I	II, III	IV, V
1	2	3	4
Пористость минеральной части, %	От 15 до 19	От 15 до 19	От 15 до 19
Остаточная пористость, %	От 1,5 до 4,0	От 1,5 до 4,5	От 2,0 до 4,0
Водонасыщение, % по объему:			
– образцов, отформованных из смесей	От 1,0 до 3,5	От 1,0 до 4,0	От 1,5 до 4,0
– вырубков и кернов готового покрытия, не более	3,0	3,5	4,0
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее:			
– при температуре 20 °С	2,0	2,2	2,5
– при температуре 50 °С	0,60	0,65	0,70

1	2	3	4
Сдвигоустойчивость: – коэффициент внутреннего трения, не менее	0,92	0,93	0,94
– сцепление при сдвиге при температуре 50 °С, МПа, не менее	0,16	0,18	0,20
Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С, МПа:			
– не менее	2,0	2,5	3,0
– не более	5,5	6,0	6,5
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,90	0,85	0,75

Примечания: 1. Для ЦМА-10 допускается снижать нормы коэффициента внутреннего трения на 0,01 по абсолютной величине.

2. При использовании полимерно-битумных вяжущих допускается снижать нормы сцепления при сдвиге и предела прочности на растяжение при расколе на 20%.

3. При использовании смесей для покрытия аэродромов в местах стоянок воздушных судов нормы прочности при сжатии и сцепления при сдвиге следует увеличивать на 25%.

Смеси должны выдерживать испытание на сцепление вяжущего с поверхностью минеральной части смеси. Смеси должны быть устойчивыми к расслаиванию в процессе транспортирования и загрузки-выгрузки. Устойчивость к расслаиванию определяют по показателю стекания вяжущего, который должен быть не более 0,20% по массе. При подборе состава смеси рекомендуется, чтобы показатель стекания вяжущего находился в пределах от 0,07 до 0,15% по массе. Смеси должны быть однородными. Однородность смесей оценивают коэффициентом вариации показателей предела прочности при сжатии при температуре 50 °С, который должен быть не более 0,18.

Температура смесей в зависимости от применяемого битумного вяжущего при отгрузке потребителю и при укладке должна соответствовать значениям, указанным в табл. 38.

Таблица 38

**Температура смесей в зависимости от вязкости
применяемого вяжущего**

Глубина проникания иглы при температуре 25 °С, 0,1 мм	Температура, °С	
	при отгрузке	при укладке, не менее
От 40 до 60 включительно	От 160 до 175	150
Св. 60 до 90 включительно	От 155 до 170	145
Св. 90 до 130 включительно	От 150 до 165	140
Св. 130 до 200	От 140 до 160	135

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от значения суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$ в применяемых материалах используют при:

- $A_{эфф}$ до 740 Бк/кг – для строительства дорог и аэродромов без ограничений;
- $A_{эфф}$ до 1500 Бк/кг – для строительства дорог вне населенных пунктов и зон перспективной застройки.

Требования к материалам

Щебень из плотных горных пород и щебень из металлургических шлаков, входящий в состав смесей, должны соответствовать требованиям ГОСТ 8267 и ГОСТ 3344. Для приготовления смесей и асфальтобетонов применяют щебень фракции от 5 до 10 мм, св. 10 до 15 мм, св. 15 до 20 мм, а также смеси фракций от 5 до 15 мм и от 5 до 20 мм. Марка по дробимости щебня из изверженных и метаморфических горных пород должна быть не менее 1200, из осадочных горных пород, гравия и металлургических шлаков – не менее 1000, марка щебня по истираемости должна быть И1. Марка щебня по морозостойкости должна быть не ниже F50.

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм в щебне должно быть не более 15% по массе. Содержание дробленых зерен в применяемом щебне из гравия должно быть не менее 85% по массе.

Песок из отсевов дробления горных пород должен соответствовать требованиям ГОСТ 8736; марка по прочности песка должна быть не ниже 1000; содержание глинистых частиц, определяемых методом набухания, – не более 0,5%, при этом содержание зерен мельче 0,16 мм (в том числе пылевидных и глинистых частиц в этой фракции) не нормируется.

Минеральный порошок должен соответствовать требованиям ГОСТ 32761 или ГОСТ Р 52129. При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается применять взамен минерального порошка пыль из системы пылеулавливания смесительной установки в таком количестве, чтобы содержание ее в зернах мельче 0,071 мм было не более 50% по массе. Содержание глинистых частиц в пыли улавливания, определяемых методом набухания, должно быть не более 5,0% по массе.

В качестве стабилизирующей добавки применяют целлюлозное волокно или специальные гранулы на его основе, которые должны соответствовать требованиям технической документации предприятия-изготовителя. Целлюлозное волокно должно иметь ленточную структуру нитей длиной от 0,1 до 2,0 мм. Волокно

должно быть однородным и не содержать пучков, скоплений нераздробленного материала и посторонних включений. По физико-механическим свойствам целлюлозное волокно должно соответствовать значениям, указанным в табл. 39.

Таблица 39

Физико-механические свойства целлюлозного волокна

Показатель	Значение показателя
Влажность, % по массе, не более	8,0
Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве, %, не более	7,0
Содержание волокон длиной от 0,1 до 2,0 мм, %, не менее	80

Допускается применять другие стабилизирующие добавки, включая полимерные или иные волокна с круглым или удлиненным поперечным сечением нитей длиной от 0,1 до 10,0 мм, способные сорбировать (удерживать) битум при технологических температурах, не оказывая отрицательного воздействия на вяжущее и смеси. Обоснование пригодности стабилизирующих добавок и оптимального их содержания в смеси устанавливают посредством проведения испытаний ЦМА по ГОСТ 12801 и устойчивости к расслаиванию смеси.

В качестве вяжущих применяют битумы нефтяные дорожные вязкие по ГОСТ 22245, ГОСТ 33133, а также модифицированные, полимерно-битумные вяжущие и другие битумные вяжущие с улучшенными свойствами по нормативной и технической документации, согласованной и утвержденной заказчиком в установленном порядке.

Правила приемки

Приемку смесей производят партиями. При приемке партией считают количество смеси одного вида и состава, выпускаемое предприятием на одной смесительной установке в течение смены, но не более 1200 т. При отгрузке партией считают количество смеси, отгружаемое одному потребителю в течение смены. Для проверки соответствия качества смеси проводят приемосдаточные и периодические испытания.

Для проведения приемосдаточных испытаний отбирают в соответствии с ГОСТ 12801 две пробы от партии, при этом отбор проб осуществляют из расчета получения одной объединенной пробы не более чем от 600 т смеси и определяют температуру смеси, содержание вяжущего и зерновой состав минеральной части.

Если сменный выпуск смеси не превышает 600 т, то для отобранной пробы дополнительно определяют устойчивость к расслаиванию по показателю стекания вяжущего, водонасыщение и предел прочности при сжатии при температуре 50 °С. Если сменный выпуск смеси превышает 600 т, то для первой и второй, а затем для каждой второй пробы определяют устойчивость к расслаиванию по показателю стекания вяжущего, водонасыщение и предел прочности при сжатии при температуре 50 °С.

Периодический контроль качества смеси осуществляют не реже одного раза в месяц и при каждом изменении материалов, используемых для приготовления смеси. При периодическом контроле качества и подборе состава смеси определяют пористость минеральной части, остаточную пористость, предел прочности при сжатии при 20 °С, водостойкость при длительном водонасыщении, коэффициент внутреннего трения и сцепление при сдвиге при температуре 50 °С, предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С, сцепление битума с минеральной частью смеси. При периодическом контроле также рассчитывают показатель однородности смеси.

На каждую партию отгружаемой смеси потребителю выдают документ о качестве, в котором указывают результаты приемосдаточных и периодических испытаний, в том числе:

- наименование предприятия-изготовителя и его адрес;
- номер и дату выдачи документа;
- наименование и адрес потребителя;
- номер заказа (партии) и количество (массу) смеси;
- вид смеси;
- температуру смеси;
- показатель устойчивости к расслаиванию;
- сцепление битума с минеральной частью смеси;
- водонасыщение;
- пределы прочности при сжатии при температурах 50 и 20 °С;
- пористость минеральной части;
- остаточную пористость;
- водостойкость при длительном водонасыщении;
- показатели сдвигоустойчивости;
- показатель трещиностойкости;
- однородность смеси;
- удельную эффективную активность естественных радионуклидов;
- обозначение стандарта.

Потребитель имеет право проводить контрольную проверку соответствия поставляемой смеси требованиям стандарта, соблюдая методы отбора проб, приготовления образцов и испытаний, предусмотренные стандартом. Отбор проб потребителем осуществляется из кузовов автомобилей-самосвалов, из бункера или шнековой камеры асфальтоукладчика в объеме, предусмотренном ГОСТ 12801.

Методы контроля

Смеси и асфальтобетоны щебеночно-мастичные испытывают по ГОСТ 12801. Образцы асфальтобетона изготавливают в стандартных цилиндрических формах диаметром 71,4 мм, уплотняя вибрированием с последующим доуплотнением прессованием. Температура смеси при приготовлении образцов должна соответствовать табл. 38.

Песок из отсевов дробления горных пород испытывают по ГОСТ 8735; щебень – по ГОСТ 8269.0; битумы нефтяные дорожные вязкие и полимерно-битумные вяжущие – по ГОСТ 11501, ГОСТ 11505, ГОСТ 11506, ГОСТ 11507 и действующей нормативной и технической документации; минеральный порошок – по ГОСТ Р 52129.

Определение показателя стекания вяжущего. Сущность метода заключается в оценке способности горячей щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси удерживать содержащееся в ней вяжущее. Приготовленную щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь разогревают до максимальной температуры в соответствии с табл. 38 и тщательно перемешивают. Сушильный шкаф также разогревают до указанной температуры, которую поддерживают в период испытаний с допускаемой погрешностью ± 2 °С.

Пустой стакан взвешивают, помещают в сушильный шкаф и выдерживают при температуре, указанной в табл. 38, не менее 10 мин. Затем стакан ставят на весы и быстро помещают в него 0,9 – 1,2 кг смеси, взвешивают и закрывают покровным стеклом. Стакан со смесью помещают в сушильный шкаф, где выдерживают при максимальной температуре, указанной в табл. 38, в течение (60 ± 1) мин. Затем стакан вынимают, снимают с него покровное стекло и удаляют смесь, перевернув стакан, не встряхивая вверх дном, на (10 ± 1) с. После этого стакан вновь ставят на дно, охлаждают в течение 10 мин и взвешивают вместе с остатками вяжущего и смеси, прилипшей на его внутренней поверхности.

Стекание вяжущего B , % по массе, определяют по формуле

$$B = \frac{g_3 - g_1}{g_2 - g_1} 100, \quad (62)$$

где g_1 , g_2 , g_3 – масса стакана соответственно пустого, со смесью и после ее удаления, г.

За результат испытаний принимают округленное до второго десятичного знака среднеарифметическое значение двух параллельных определений. Расхождение между результатами параллельных испытаний не должно превышать 0,05% по абсолютной величине. В случае больших расхождений вновь определяют стекание вяжущего и для расчета среднеарифметического берут данные четырех определений.

11.2. Литой асфальтобетон

Покрытия из литого асфальтобетона водонепроницаемы, обладают высокой коррозионной стойкостью, трещино- и износостойкостью. Они наиболее устойчивы к механическим и физическим воздействиям окружающей среды и транспортных средств, особенно при применении антигололедных смесей, химических растворов, выдерживают нагрузки шипованных автомобильных шин [7, 10, 38].

Данные преимущества достигаются присутствием в его составе значительного количества асфальтовяжущего вещества (минеральный порошок + битум), которое должно обладать теплостойкостью при летних высоких положительных температурах. Применение высоковязкого модифицированного битума значительно повышает погодоустойчивость литого асфальтобетона. Для выполнения работ с литой асфальтобетонной смесью требуется дополнительное оборудование для ее транспортировки и укладки, т. к. в процессе транспортировки происходит расслоение смеси.

Укладка смеси производится при повышенных температурах (180 – 200 °С) с последующим втапливанием одномерного черного щебня размером до 10 мм. Повышенная температура размягчения битума (60 – 70 °С) достигается введением в вязкий дорожный битум высоковязкого строительного битума или модифицирующих добавок. Однако при температуре более 180 °С модификаторы битума типа ДСТ начинают разлагаться, а температура готовой смеси находится в пределах 220 – 240 °С, поэтому необходимо использовать модифицирующие добавки типа атактического полипропилена (АПП), которые одновременно с повышением эластичности битума

при низких отрицательных температурах придают битуму более высокую температуру размягчения.

Важнейшей особенностью ремонта покрытий литыми асфальтобетонами является отсутствие необходимости в уплотнении уложенной смеси, которая после остывания достигает максимальной плотности. При этом ремонтные работы можно вести и при отрицательных температурах воздуха до -10°C , что делает такую технологию круглогодичной. Литые асфальтобетонные смеси характеризуют высокая пластичность и подвижность и, как следствие, способность заполнять все раковины и трещины, прочно соединяясь с основанием и гранями разрушений, образуя монолитную композицию.

11.3. Цветной асфальтобетон

Цветная асфальтобетонная смесь – рационально подобранная смесь, состоящая из крупной минеральной составляющей (высевок, каменной мелочи, дробленых изверженных или осадочных горных пород и керамических отходов – кирпичей и клинкерного каменного материала), песка, минерального порошка, вяжущего и пигмента, взятых в определенном соотношении и перемешанных при необходимости в нагретом состоянии [10].

Цветной асфальтобетон – уплотненная при оптимальной температуре цветная асфальтобетонная смесь.

Цветной асфальтобетон является разновидностью асфальтобетона, отличающейся различной окраской (красной, желтой, белой, зеленой и т. д.). Из цветного асфальтобетона устраивают разделительные полосы проезжей части, пешеходные переходы, островки безопасности, остановочные площадки городского транспорта, обозначения стоянок автомобилей и участков дороги, на которых запрещается обгон. Кроме этого, цветной асфальтобетон применяется как декоративный материал для парковых дорожек, оформления площадей, скверов, покрытий тротуаров, спортивных площадок и т. п. Цветной асфальтобетон может быть также применен в аэродромном строительстве для покрытий рулежных дорожек и обозначения взлетной полосы, а также для полов террас, вестибюлей, перронов, цехов промышленных и гражданских зданий.

В настоящее время цветной асфальтобетон может быть классифицирован:

- *по способу применения*: на горячий, укладываемый и уплотняемый в горячем состоянии, и холодный, укладываемый и уплот-

няемый в холодном состоянии (при температуре окружающего воздуха), а иногда приготовленный без всякого подогрева;

- *по виду вяжущего*: на цветной асфальтобетон на битуме и цветной асфальтобетон с применением естественных и искусственных смол и синтетических вяжущих материалов (цветной пластобетон).

В большинстве случаев в качестве минеральной части используются каменные материалы размером от 0 до 7 мм из одной и той же горной породы, отдельные фракции которой по гранулометрическому составу соответствуют щебню, песку и минеральному порошку. Минеральные материалы для цветного асфальтобетона применяются главным образом светлые (мраморная крошка, известняковые высевки, белые пески) или естественной окраски (красные гранитные высевки, кирпичный щебень, цветные керамические материалы и т. д.).

В качестве вяжущего рекомендуются светлые материалы (кумароновая смола, канифоль, битумы из светлых нефтей, различные высокомолекулярные полимеры). Могут быть также применены и обычные битумы, однако в этом случае даже при наличии яркого пигмента цветной асфальтобетон получается темных оттенков. Если вяжущее обладает недостаточной пластичностью, обязательно применяют пластификаторы.

Структура цветного асфальтобетона подобна структуре обычного асфальтобетона, в ней минеральная часть является каменным остовом, а минеральный порошок – основной структурообразующей составляющей. Роль вяжущего состоит в склеивании минеральных частиц и заполнении пустот между ними. Пластификаторы уменьшают хрупкость и повышают пластичность вяжущего. Пигмент, окрашивая минеральные материалы и вяжущее, выполняет одновременно роль минерального порошка.

Все пигменты применяются в виде порошков. Среди них лучшими по яркости окраски являются пигмент желтый светостойкий, окись хрома и редоксайд, свинцовый сурик. Наиболее дешевым и светостойким является железный сурик, однако он не обеспечивает необходимого яркого цвета. Пигменты должны обладать достаточной яркостью, светостойкостью, водостойкостью. Следует иметь в виду, что пигмент, помимо основной цели, в составе цветного асфальтобетона выполняет роль и минерального порошка.

Подбор состава цветного асфальтобетона имеет целью установить рациональное количественное соотношение компонентов цветного асфальтобетона, обеспечивающее лучшее качество и со-

ответствие техническим требованиям. Цветной асфальтобетон должен быть прочным, обладать высокими физико-механическими свойствами, иметь яркую окраску и быть удобообрабатываемым.

Подбор состава горячего цветного асфальтобетона с применением кумароновой смолы состоит из следующих этапов: подбора плотной минеральной смеси, экспериментального определения рационального соотношения вяжущего и пластификатора, определения количества необходимого пластифицированного вяжущего. Подбор плотной цветной асфальтобетонной смеси осуществляется по методу предельных кривых плотных смесей, как это делается при расчете обычного асфальтобетона. Критерием правильности подбора плотной минеральной смеси являются зерновые составы минеральной части смесей и асфальтобетонов для верхних слоев покрытий (см. табл. 4).

При подборе количественного соотношения вяжущего и пластификатора нужно, чтобы свойства этой смеси соответствовали требованиям к битумам, рекомендуемым для применения в подобной обычной асфальтобетонной смеси, главным образом по вязкости, растяжимости и температуре размягчения.

Приготовление цветного асфальтобетона мало отличается от приготовления обычного асфальтобетона и может быть осуществлено на асфальтосмесительных установках с принудительным перемешиванием. Эти установки, предназначенные для приготовления цветного асфальтобетона, должны быть чистыми, не загрязненными битумом, так как в противном случае не будет обеспечена необходимая расцветка цветной асфальтобетонной смеси. Технологический процесс приготовления, укладки и уплотнения в значительной степени зависит от вида применяемого вяжущего и от способа приготовления смеси (горячий или холодный).

11.4. Асфальтобетон на пористых заполнителях

Для многих регионов степной и лесостепной зоны Сибири крупные заполнители являются дальнепривозным и дорогостоящим компонентом бетонов различных видов и назначения. В то же время привозные каменные материалы являются основной причиной слабой низкотемпературной устойчивости асфальтобетонов вследствие высокой теплопроводности плотных скальных пород.

Указанные выше обстоятельства стали причиной проведения исследовательских работ, выполненных на кафедре «Строительные материалы и специальные технологии» СибАДИ и направленных на технологию получения асфальтобетонов на пористых заполни-

телях, например на керамзите повышенной плотности и, следовательно, повышенной прочности, названного дорзит, а также на получение новых эффективных дорожно-строительных материалов, например дорзитоасфальтобетонных смесей для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог [10].

При этом исследованиями было установлено:

1. Дробимость дорзита при уплотнении существенно снижается и приближается к дробимости щебня из скальных горных пород при его испытании на дробимость в составе минеральной части дорзитоасфальтобетона. Это значит, что реальную дробимость зерен дорзита следует оценивать в минеральной смеси производственного состава, уплотняемой по режиму, близкому к производственному.

2. Между объемными концентрациями дорзита и песка, заполняющего в нем межзерновое пространство, имеется взаимосвязь, которую удалось описать математически. Это позволяет не подбирать, а рассчитывать состав дорзитопесчаной смеси с наименьшей или заданной межзерновой пустотностью.

3. Зерна дорзита обладают определенной объемной битумоемкостью, благодаря которой смачивается и обволакивается поверхность зерен, а также закупориваются поровые ходы в корке зерен дорзита. При этом их водопоглощение снижается в 15 – 20 раз (до обработки битумом оно составляло 16 – 18% по объему, а после обработки – 0,8 – 0,9%). Как следствие этого эффекта существенно снижается водопоглощение дорзитоасфальтобетона, повышается его водостойкость и становится более стабильной теплопроводность.

4. Дорзитоасфальтобетоны из горячих смесей обладают достаточно высокой морозостойкостью. Установлено также, что предварительная обработка зерен дорзита битумом существенно повышает морозостойкость дорзитоасфальтобетона.

5. Особое внимание следует уделять надежному управлению межзерновой остаточной пористостью дорзитоасфальтобетона с учетом его места в дорожной одежде. Так, в дорзитоасфальтобетоне для верхнего слоя покрытия межзерновая пористость должна быть близка к нулю, чтобы ограничить возможность попадания в него воды. В нижних слоях покрытия и верхних слоях основания допускается несколько увеличить величину пористости, поскольку вышележащие слои уже ограничивают доступ воде.

6. Установлено, что дорзитоасфальтобетонные покрытия в сравнении с покрытиями из традиционных асфальтобетонов обладают намного меньшей хрупкостью и повышенной трещиностой-

костью при отрицательных температурах. Этот выявленный экспериментально эффект предполагает более высокую долговечность дорзитоасфальтобетонных слоев в дорожной одежде в суровых климатических условиях.

7. Использование дорзита как пористого заполнителя ведет к снижению средней плотности асфальтобетона с 2300 – 2400 кг/м³ до 1800 – 2000 кг/м³, т.е. на 20 – 25% и, следовательно, к понижению коэффициента его теплопроводности от 0,8 – 0,9 Вт/м·К для обычного асфальтобетона до 0,4 – 0,45 Вт/м·К для дорзитоасфальтобетона. Это означает, что дорзитоасфальтобетон в дорожной одежде может совмещать функции конструктивного и теплоизоляционного слоев и благодаря этому улучшать водно-мерзлотный режим работы дорожной конструкции, особенно в суровых климатических условиях. Кроме того, снижение плотности дорзитоасфальтобетонных смесей позволяет: а) на 15 – 20% повысить массу замеса и соответственно увеличить производительность асфальтосмесителей; б) увеличить на 15 – 20% объем перевозимой смеси в автосамосвале данной грузоподъемности и повысить соответственно производительность автотранспорта; в) замедлить остывание смеси и тем самым сохранить подвижность, удобоукладываемость и уплотняемость смеси на более длительное время.

11.5. Органоминеральные смеси

Органоминеральная смесь – искусственная смесь, получаемая смешением на дороге или в смесительных установках щебня, гравия, песка и их смесей, а также минерального порошка (в том числе порошковых отходов промышленного производства) с органическими вяжущими (жидкими или вязкими битумами, битумными эмульсиями) и активными добавками и без них или с органическими вяжущими совместно с минеральными [40].

Применяются для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Требования к материалам для приготовления органоминеральных смесей и к самим смесям регламентированы ГОСТ 30491. В отличие от асфальтобетонов к материалам из органоминеральных смесей предъявляются менее жесткие требования по всем показателям: к зерновому составу минеральной части; прочности при температуре 20 и 50 °С; водостойкости, водонасыщению; кроме того, предъявляются требования к набуханию. К органоминеральным смесям не предъявляются требования по прочности при 0 °С. Из-за пониженных показателей качества органоминеральные смеси могут применяться для устройства покрытий

только на дорогах с интенсивностью движения до 500 автомобилей в сутки. Органоминеральные смеси нельзя использовать для устройства покрытий на дорогах в I дорожно-климатической зоне. В основном органоминеральные смеси используют для устройства покрытий и оснований на дорогах с интенсивностью движения расчетной нагрузки от 350 до 2000 ед. в сутки во II – IV дорожно-климатических зонах.

Смеси в зависимости от наибольшего размера зерен применяемых минеральных материалов приготавливают:

- крупнозернистыми – с зернами размером до 40 мм;
- мелкозернистыми – с зернами размером до 20 мм;
- песчаными – с зернами размером до 5 мм.

Для приготовления смесей применяют щебень и гравий фракций от 5 до 20 и от 5 до 40 мм.

Содержание глинистых примесей, определяемых методом набухания, в песках из отсевов дробления горных пород не должно быть более 1% по массе. Для приготовления смесей применяют минеральные порошки, а также порошковые отходы промышленного производства, измельченные основные металлургические шлаки. Для смесей, приготавливаемых на дороге, допускается в качестве минерального порошка применять пылеватые грунты с числом пластичности не более 10.

В качестве органических вяжущих для приготовления смесей применяются жидкие нефтяные дорожные битумы, эмульсии битумные дорожные, а также битумы нефтяные дорожные вязкие.

Контрольные вопросы

1. Каков компонентный состав цветного асфальтобетона?
2. Каков компонентный состав щебеночно-мастичного асфальтобетона?
3. Чем щебеночно-мастичный асфальтобетон отличается от обычного асфальтобетона?
4. Каков компонентный состав органоминеральной смеси?
5. Чем органоминеральная смесь отличается от асфальтобетонной смеси?
6. Чем литой асфальтобетон отличается от обычного асфальтобетона?
7. Какие вяжущие применяются в литом асфальтобетоне?
8. Какие положительные качества есть у асфальтобетонов на пористых заполнителях?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Асфальтобетон является наиболее широко применяемым материалом при строительстве дорожных покрытий, а в ряде случаев и оснований. Так как асфальтобетон является весьма дорогостоящим дорожно-строительным материалом, повышение его долговечности и снижение стоимости остается проблемой дорожного строительства.

Основы повышения долговечности и экономичности асфальтобетона закладываются уже на стадии проектирования его состава, что требует совершенствования методологии с учетом многовариантности решений, их технико-экономического анализа с использованием ЭВМ.

Производство асфальтобетонных смесей является важнейшей базой строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог, его технический уровень определяет технический уровень дорожного хозяйства. Именно с учетом этого положения уделяется особое внимание развитию и совершенствованию машин и оборудования для приготовления асфальтобетонных смесей, строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий.

В строительстве современных автомобильных дорог все большее распространение приобретают асфальтобетонные покрытия различных видов (полимерасфальтобетоны, щебеночно-мастичные, литые, цветные и т. д.).

Применение полимерасфальтобетонов в дорожном строительстве возрастает в связи с увеличением грузонапряженности и интенсивности движения на автомобильных дорогах. Для производства полимерасфальтобетонов применяют ПБВ. Наиболее широко за рубежом и в России при получении ПБВ используют блоксополимеры стирол-бутадиен-стирол СБС. В полимерно-битумных вяжущих на основе СБС образуется пространственная эластичная структурная сетка из макромолекул полимера по всему объему вяжущего. В результате ПБВ на основе полимера СБС обладает высокой эластичностью, трещиностойкостью и деформативностью при низких температурах. Перспективными добавками для получения ПБВ являются также термопластичные полимеры, синтетические каучуки, резиновая крошка. Битумы, модифицированные полимерами, применяют для приготовления горячих высокоплотных и плотных полимерасфальтобетонных смесей разных типов структуры, литых, дренирующих, складываемых полимерасфальтобетонных смесей, смесей для тонких и очень тонких слоев покрытий, для устройства

поверхностных обработок и трещинопрерывающих прослоек, при изготовлении герметизирующих материалов.

По сравнению с асфальтобетонами на битумах полимерасфальтобетоны на ПБВ характеризуются меньшей чувствительностью к изменению температуры, повышенной динамической устойчивостью, сдвигоустойчивостью и колеестойкостью, деформативностью при низких температурах, более высокой морозостойкостью. Срок службы дорожных покрытий с применением ПБВ превышает срок эксплуатации асфальтобетонных покрытий с применением битумов в 2 – 3 раза.

В странах, где достаточно долго экспериментируют с ЩМА, определили, что для данного вида асфальтового покрытия для получения оптимальных результатов необходимо, чтобы состав смеси был хорошо подобран, а укладка на дорожную поверхность была произведена в соответствии с технологией и на высоком техническом уровне. Процесс приготовления и укладки ЩМА функционален, экономичен и не требует каких-либо специальных дополнительных технических устройств. В то же время он обеспечивает прекрасные эксплуатационные характеристики дорожного покрытия, сохраняя при этом высокую стабильность и долговечность, а также возможность укладки в виде тонких слоев.

Очевидно, что городские дороги подвержены более серьезным испытаниям, чем загородные с той же интенсивностью движения. Светофорные объекты, перекрестки, пешеходные переходы, автобусные остановки, где повышены касательные напряжения из-за частого торможения транспорта, приводят к деформации и разрушению основания и покрытия дорожной одежды. Наличие большого количества люков колодцев подземных коммуникаций, требующих регулярного ремонта, а также аварийные и плановые раскопки дорог для ремонта ветхих труб подземных коммуникаций добавляют дорожникам массу хлопот при работах по обслуживанию городских улиц. Поэтому следует более широко распространять опыт московских дорожников, которые работы текущего ремонта проводят по новой технологии ремонта дорожных покрытий с применением литого асфальтобетона.

Цветной асфальтобетон пока не получил широкого применения. Потребность же в этом материале ощущается большая. Цветной асфальтобетон следует рассматривать как дорожный материал, главным образом способствующий безопасности автомобильного движения, а также предназначенный для декоративных целей.

Использование пористых каменных материалов в дорожных асфальтобетонах экономически выгодно в районах, где плотные за-

полнители являются привозимыми и дорогостоящими. Техническая целесообразность производства и применения дорожных асфальтобетонов на пористых заполнителях обусловлена их высокой теплоизолирующей способностью и низкотемпературной трещиностойкостью, что делает такой асфальтобетон эффективным дорожно-строительным материалом для районов с резкоконтинентальным климатом.

Низкое качество асфальтобетона часто обусловлено несоблюдением требований ГОСТ 9128–2013 к зерновому составу минеральной части асфальтобетона в особенности по содержанию частиц менее 0,063 (0,071) мм. Отсутствие в дорожных организациях минерального порошка, без которого невозможно получение качественного асфальтобетона, приводит к его частичной или полной замене циклонной пылью, свойства которой практически не изучаются. Замена или отсутствие минерального порошка приводит к выпуску пористых асфальтобетонов вместо плотных, что резко сокращает срок службы покрытия. Использование минеральных порошков, отвечающих требованиям стандарта, позволит повысить качество асфальтобетона и его долговечность.

Проблема повышения качества и экономичности асфальтобетонных покрытий весьма многогранна и должна учитывать все факторы, начиная со стадии выбора качественных компонентов асфальтобетонной смеси с учетом максимального использования местных каменных материалов и промышленных отходов и заканчивая соблюдением технологических режимов при устройстве дорожных покрытий.

Библиографический список

1. Золотарев, В.А. Дорожные асфальтобетоны. Избранные труды / В.А. Золотарев. – СПб. : Славутич, 2015. – Т. 3. – 184 с.
2. Золотарев, В.А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны : в 2 ч. Ч. 2. Дорожные асфальтобетоны : учебник / В.А. Золотарев. – Харьков : ХНАДУ, 2016. – 204 с.
3. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение : в 2 ч. [Электронный ресурс] : учебник для академического бакалавриата / И. А. Рыбьев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2018. – Ч. 1. – 264 с. – ISBN 978-5-534-03213-0. – Режим доступа : www.biblio-online.ru/book/C8400F7C-7ADF-4C8C-962A-39CE70A58259, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу : 10.02.2018).
4. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение : в 2 ч. [Электронный ресурс] : учебник для академического бакалавриата / И. А. Рыбьев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2018. – Ч. 2. – 436 с. – ISBN 978-5-534-03215-4. – Режим доступа : www.biblio-online.ru/book/7ACC0E28-8A17-4A77-8BF1-

90D34FF3A0A6, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 10.02.2018).

5. Золотарев, В.А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны : в 2 ч. Ч. 1. Дорожные битумные вяжущие : учебник / В.А. Золотарев. – Харьков : ХНАДУ, 2014. – 180 с.

6. Дорожно-строительные материалы / под ред. И. М. Грушко. – М. : Транспорт, 1991. – 384 с.

7. Гезенцвей, Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцвей, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский ; под ред. Л.Б. Гезенцвея. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.

8. Дорожный теплый асфальтобетон / И. В. Королев, Е. Н. Агеева, В. А. Головкин, Г.Р. Фоменко. – 2-е изд., перераб.– Киев : Вища школа, 1984. – 200 с.

9. Рыбьев, И.А. Асфальтовые бетоны / И.А. Рыбьев. – М. : Высшая школа, 1969. – 389 с.

10. Надыкто, Г.И. Дорожный асфальтобетон : учебное пособие / Г.И. Надыкто, В.С. Прокопец. – Омск : СибАДИ, 2009. – 154 с.

11. ГОСТ 9128–2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 9128–2009 ; введ. 2014–11–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 56 с.

12. ГОСТ 22245–90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – Взамен ГОСТ 22245–76 ; введ. 1991–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2005. – 10 с.

13. ГОСТ 33133–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – Введ. 2015–10–01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 10 с.

14. ГОСТ 11955–82. Битумы нефтяные дорожные жидкие. Технические условия. – Взамен ГОСТ 11955–74 ; введ. 1984–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.

15. ГОСТ 12801–98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 12801–84 ; введ. 1999–01–01. – М. : Госстрой России : ГП ЦПК, 1999. – 63 с.

16. ГОСТ 23735–79. Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия. – Введ. 1980–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.

17. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – Взамен ГОСТ 8267–82, ГОСТ 8268–82, ГОСТ 10260–82, ГОСТ 23254–78, ГОСТ 25873–86 ; введ. 1995–01–01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 18 с.

18. ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – Взамен ГОСТ 8736–93 ; введ. 2015–04–01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 10 с.

19. ГОСТ 31424–2010. Материалы строительные нерудные из отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия. – Введ. впервые 2011–07–01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 8 с.

20. ГОСТ 32761–2014. Дороги общего пользования. Порошок минеральный. Технические требования. – Введ. 2015–04–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 12 с.
21. ГОСТ Р 520562–003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия. – Введ. 2004–01–01. – М. : Стандартинформ, 2007. – 8 с.
22. ГОСТ 3344–83. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия. – Взамен ГОСТ 3344–73, ГОСТ 23756–79 ; введ. 1984–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.
23. Горячие асфальтобетонные смеси, материалы, подбор составов смесей и строительство автомобильных дорог в Северной Америке: передовой зарубежный опыт / E.R. Brown, S. Prithvi S. Kandhal, F.L. Roberts, V.R. Kim, D-Y. Lee, T.W. Kennedy. – М. : Росавтодор, 2009. – 411 с.
24. ГОСТ 8269.1–97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. – Введ. 1998–07–01. – М. : Госстрой России : ГУП ЦПП, 1998. – 66 с.
25. ГОСТ 8735–88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. Взамен ГОСТ 8735–88, 2589–83 ; введ. 1989–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 37 с.
26. ГОСТ Р 52129–2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. – Введ. 2003–01–01. – М. : Стандартинформ, 2003. – 32 с.
27. Ковалёв, Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов : учеб.-метод. пособие / Я.Н. Ковалев. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2012. – 285 с.
28. Гохман, Л.М. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС : учеб. пособие / Л.М. Гохман. – М. : ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2004. – 584 с.
29. ОДМ 218.2003–2007. Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блоксополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. – М. : Росавтодор, 2007. – 120 с.
30. Руденская, И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М. : ИНФРА, 2010. – 256 с.
31. Модифицированные битумы : учеб. пособие / В. Д. Галдина. – Омск : СибАДИ, 2009. – 228 с.
32. ОДМ 218.3.026–2012. Рекомендации по применению высокоплотных асфальтобетонов на основе полимерно-битумных вяжущих для покрытий автомобильных дорог в различных климатических условиях Российской Федерации. – М. : Росавтодор, 2012. – 78 с.
33. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий : методические рекомендации / сост. : В. Н. Шестаков, В. Б. Пермиков, В. М. Ворожейкин, Г. Б. Старков. – Омск : ОАО «Омский дом печати», 2004. – 256 с.
34. Современные асфальтобетонные заводы и оборудование / Б. С. Марышев, Б. Н. Соловьев // Автомобильные дороги : научно-технический информационный сборник. – М. : Инфрмавтодор, 2000. – Вып. 4. – С. 29 – 60.

35. Руководство по применению ПАВ при устройстве асфальтобетонных покрытий (взамен ВСН–59). – М. : Росавтодор, 2003. – 40 с.
36. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85.– М. : Минрегион России, 2012. – 112 с.
37. ГОСТ 31015–2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. – Введ. 2003–05–01. – М. : Стандартинформ, 2003. – 20 с.
38. ГОСТ Р 54401–2011. Асфальтобетон дорожный литой горячий. Технические требования. – Введ. 2012–05–01. – М. : Стандартинформ, 2012. – 28 с.
39. ГОСТ Р 52128–2008. Эмульсии битумные дорожные. Технические условия. – Взамен ГОСТ Р 52128–2003 ; введ. 2008–01–01. – М. : Госстрой России : ГУП ЦПП, 2010. – 26 с.
40. ГОСТ 30491–12. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. – Взамен ГОСТ 30491–97 ; введ. 2013–11–01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 21 с.

Показатели прочности и морозостойкости щебня и гравия

Показатель	Значение для смеси марки												
	I					II						III	
	горячих типа		холодных типа		порис- тых и высоко- порис- тых	горячих типа			холодных типа		порис- тых и высоко- порис- тых	горячих типа	
	А и высоко- плотных	Б	Б _х	В _х		А	Б	В	Б _х	В _х		Б	В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Марка, не ниже: <i>по дробимости:</i> а) щебня из из- верженных и ме- таморфических горных пород	1200	1200	1000	800	800	1000	1000	800	800	600	600	800	600
б) щебня из оса- дочных горных пород	1200	1000	800	600	600	1000	800	600	600	400	400	600	400
в) щебня из ме- таллургического шлака	-	1200	1000	1000	800	1200	1000	800	800	600	600	800	600
г) щебня из гра- вия	-	1000	1000	800	600	1000	800	600	800	600	400	600	400
д) гравия	-	-	-	-	-	-	-	600	800	600	400	600	400

Окончание прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>по истираемости:</i>													
а) щебня из изверженных и метаморфических горных пород	И1	И1	И2	И3	Не норм.	И2	И2	И3	И3	И4	Не норм.	И3	И4
б) щебня из осадочных горных пород	И1	И2	И2	И3	Не норм.	И1	И2	И3	И3	И4	Не норм.	И3	И4
в) щебня из гравия и гравия	-	И1	И1	И2	Не норм.	И1	И2	И3	И2	И3	Не норм.	И3	И4
<i>по морозостойкости:</i>													
для всех видов щебня и гравия:													
а) для дорожно-климатических зон I,II,III	F50	F50	F50	F50	F25	F50	F50	F25	F25	F25	F15	F25	F25
б) для дорожно-климатических зон IV,V	F50	F50	F25	F25	F25	F50	F25	F15	F15	F15	F15	F15	F15

**Технические требования к показателям свойств
вязких дорожных битумов**

Таблица П.2.1

**Технические требования ГОСТ 22245-90 к вязким дорожным
битумам марок БНД**

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

**Технические требования ГОСТ 22245-90 к вязким дорожным
битумам марок БН**

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

Технические требования ГОСТ 33133-2014 к вязким дорожным битумам

Показатель	Норма для битума марки					
	БНД 130/200	БНД 100/130	БНД 70/100	БНД 50/70	БНД 35/50	БНД 20/35
1	2	3	4	5	6	7
Основные показатели						
1. Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	131–200	101–130	71–100	51–70	36–50	20–35
2. Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	42	45	47	51	53	55
3. Растяжимость при 0 °С, см, не менее	6,0	4,0	3,7	3,5	Не определяется	
4. Температура хрупкости, °С, не выше	–21	–20	–18	–16	–14	–11
5. Температура вспышки, °С, не ниже	220	230	230	230	230	230
6. Изменение массы образца после старения, %, не более	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
7. Изменение температуры размягчения после старения, °С, не более	7	7	7	7	6	6
Дополнительные показатели						
8. Растяжимость при 25 °С, см, не менее	80	70	62	60	50	40
9. Температура хрупкости после старения, °С, не выше	–18	–17	–15	–13	–11	–8
10. Глубина проникания иглы при 0 °С, 0,1 мм, не менее	40	30	21	18	14	10
11. Растворимость, %, не менее	99,0					
12. Содержание твердых парафинов, %, не более	3,0					
13. Индекс пенетрации	От –1,0 до +1,0					
Дополнительные показатели						
14. Динамическая вязкость (при скорости сдвига 1,5 с' и при 60 °С), Па · с	Для набора статистических данных					

1	2	3	4	5	6	7
Дополнительные показатели						
15. Изменение динамической вязкости в результате сдвигового воздействия (при скорости сдвига 1,5 с' и при 60 °С), %, не более	Для набора статистических данных					
16. Изменение динамической вязкости после старения, Па · с	То же					
17. Изменение динамической вязкости в результате сдвигового воздействия после старения, %, не более	То же					
18. Максимальное усилие при растяжении при 25 °С, Н	То же					
19. Максимальное усилие при растяжении при 0 °С, Н	То же					

Примечание. На национальном уровне в зависимости от климатических, географических, технических, технологических, экономических факторов или по иным не менее значимым основаниям

- 1) допускается применять более узкие марки битума;
- 2) допускается изменение значений показателей в сторону улучшения качества битума.

Таблица П.2.4

Область применений битумов в дорожном строительстве

Среднемесячные температуры наиболее холодного времени года, °С	Марка битума
Не выше –20	БНД 100/130, БНД 130/200
От –20 до +10	БНД 50/70, БНД 70/100, БНД 100/130, БНД 130/200
От –10 до +5	БНД 20/35, БНД 35/50, БНД 50/70, БНД 70/100, БНД 100/130

**Технические требования к показателям свойств полимерно-битумных
вяжущих**

Таблица П.3.1

Технические требования ГОСТ Р 52056–2003 к ПБВ на основе СБС

Показатель	Нормы по маркам						Метод испытания
	ПБВ 300	ПБВ 200	ПБВ 130	ПБВ 90	ПБВ 60	ПБВ 40	
Глубина проникания иг- лы, 0,1мм, не менее:							По ГОСТ 11501–78
– при 25 °С (100 г, 5 с)	300	200	130	90	60	40	
– при 0 °С (200 г, 60 с)	90	70	50	40	32	25	
Температура размягче- ния по кольцу и шару, °С, не ниже	45	47	49	51	54	56	По ГОСТ 11506–73
Температура хрупкости, °С, не выше	–40	–35	–30	–25	–20	–15	По ГОСТ 11507–78
Растяжимость, см, не менее:							По ГОСТ 11505–75
– при 25 °С	30	30	30	30	25	15	
– при 0 °С	25	25	25	15	11	8	
Эластичность, %, не менее:							По ГОСТ 52056– 2003
– при 25 °С	85	85	85	85	80	80	
– при 0 °С	75	75	75	75	70	70	
Изменение температуры размягчения после про- грева, °С, не более	7	7	6	6	5	5	По ГОСТ 18180–72, по ГОСТ 11506–73
Температура вспышки, °С, не ниже	220	220	220	220	230	230	По ГОСТ 4333–87
Однородность	Однородно						По ГОСТ Р 52056– 2003
Сцепление с мрамором или песком	Выдерживает по контрольному образцу №2						По ГОСТ 11508–74 (метод А)

**Технические требования ТУ-5718-011-01393697-97
к ПБВ на основе «Каудест-Д»**

Показатель	Нормы по маркам				
	ПБВ 200/300	ПБВ 130/200	ПБВ 90/130	ПБВ 60/90	ПБВ 40/60
Глубина проникания иглы, 0,1мм, не менее:					
– при 25 °С (100 г, 5 с)	201-300	131-200	91-130	61-90	41-60
– при 0 °С (200 г, 60 с)	60	40	35	28	22
Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	40	44	47	50	54
Температура хрупкости, °С, не выше	–30	–28	–25	–20	–15
Растяжимость, см, не менее:					
– при 25 °С	85	85	85	75	65
– при 0 °С	45	45	25	20	15
5. Эластичность, %, не менее:					
– при 25 °С	80	80	80	75	75
– при 0 °С	75	75	75	75	
Изменение температуры размягчения после прогре- ва, °С, не более	7	6	6	5	5
Температура вспышки, °С, не ниже	220	220	220	230	230
Однородность	Однородно				
Сцепление с мрамором или песком	Выдерживает по контрольному образцу №2				

Характеристики асфальтосмесительных установок

№ п/ п	Страна, фирма, марка асфальтосмеси- тельной установки	Производитель- ность, т/ч	Вмести- мость сме- сителя, т	Длина сушиль- ного барабана, м	Диаметр сушиль- ного барабана, м	Возможность добавления сфрезерован- ного асфаль- тобетона	Рас- ход топ- лива на т сме- си, кг	Установ- ленная мощность, кВт	Стои- мость, тыс долл.
1	Германия, Амманн								
	Euro – 80	80	1,50	7	1,60	+	11	180	*
	Euro – 120	120	1,50	8	1,80	+	11	270	1400
	Euro – 160	160	3,00	8	2,00	+	11	360	1300
	Euro – 240	240	3,00	9	2,00	+	11	500	*
2	Германия, Benninghover,								
	ТВА-120	120	1,60	1,80	+	10	260	1200	1200
	ТВА-160	160	2,00	2,00	+	10	00	1300	1300
	ТВА-200	200	2,50	2,20	+	10	240	1490	1490
	ТВА-240	240	3,00	2,20	+	10	460	*	*
	ТВА-320	300	4,00	2,40	+	10	520	*	*
3	Германия, Teltomat	100	1,50	1,60	+	8	325	1050	1050
4	Россия, АО «Сас- та» MIS S75 E150	75	1,10	8	1,50	–	9	260	920
5	Россия, «УралНИ- ТИ», MIS S75 E150	75	1,10	8	1,50	–	9	260	4500

Окончание прил. 4

№ п/п	Страна, фирма, марка асфальтосмесительной установки	Произво- дитель- ность, т/ч	Вмести- мость сме- сителя, т	Длина сушильно- го барабана, м	Диаметр сушиль- ного барабана, м	Возможность добавления сфрезеро- ванного ас- фальтобето- на	Расход топлива на т смеси, кг	Установ- ленная мощность, кВт	Стои- мость, тыс долл.
6	Россия, АО «Саста» и «Илан-Л»	100	1,50	8	1,80	–	9	325	1000
7	Россия, СП «Росасфальт» МА 50 WNC	50	0,625	6	1,4	–	8	180	1000
	МА 100 WKC	100	1,50	8	1,8	–	8	350	1200
	МА 160 WKC	160	2,00	8	2,2	–	8	500	–
8	Россия, завод «Цен- тросвар», УА-50	40	0,70	5,6	1,4	–	12	196	160
9	Украина, АО «Кремаш» ДС-185	45	0,70	5,6	1,4	–	12	195	140
	ДС-168	130	2,00	8	2,2	–	12	580	318
10	Россия, г. Омск ЗАО «Номбус» НС-100	100	1,5	8	1,8	–	4,7	240	1000

Примечание. * – в прайс-листах фирм данные не указаны.

Технические характеристики теплоносителей

Технические параметры	Теплоносители								
	ИС-20	ИС-40	ИС-50	АМТ-300	Мобиль-терм-600	Мобиль-терм-Лихт	W-250	Терес-со-56	Спиракс-80ЕП
Допустимая температура нагрева, °С	160	170	180	280	280	260	230	280	280
Температура вспышки, °С	180	200	200	170	170	150	142	*	214
Температура затвердевания, °С	-15	-10	-20	-30	-7	-34	-52	-7	-24
Температура кипения, °С	*	*	*	354	321	*	235	300	*
Вязкость при 50 °С, сСТ	17-23	28-33	35-45	20	31	3	10	43,5	68,8

Примечание. *— фирмами-изготовителями данные не приводятся.

Технические характеристики нагревательных установок

Тип нагрева- телей	Теплопроиз- водитель- ность, ккал/ч	Расход дизельно- го топ- лива, т/ч	Расход газа, м ³ /ч	Насос		Масса, кг
				мощность привода, кВт	производи- тельность, л/мин	
Фирма Astec (США)						
НС-120	300000	38	40	4	227	2178
НС-200	500000	64	65	5,5	340	2950
НС-300	750000	95	100	10	510	4083
НС-400	1000000	128	130	15	680	5000
НС-500	1250000	159	160	20	850	5900
НС-600	1500000	190	200	25	1000	6863
НС-800	2000000	255	260	30	1360	8333
Фирма Cartem (Англия)						
5-1	126000	14	16	2,25	*	1179
11-1	282500	32	34	5,5	*	1651
14-1	373000	45	50	5,5	*	1814
22-1	567000	70	75	5,5	*	2381
33-1	832000	104	110	5,5	*	2812
Фирма Bernardi (Италия)						
CRBC250	250000	30	35	4	200	1700
CRBC400	400000	46	50	5	300	2300

Примечание. *— фирмами-изготовителями данные не приводятся.