

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Рыхсиева Лайло Миралимовна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
(РЕГЕНЕРАЦИЯ) СТАРЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

Специальность:

5A580206 – Автомобильные дороги и аэродромы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени магистра

Научный руководитель

_____ доц. Ю.Т.Абдурахманов

«__» _____ 2011 г.

Ташкент – 2011

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильные дороги являются важнейшим элементом дорожно-транспортной системы Республики Узбекистан, непосредственно влияющее на его экономическое, социальное и культурное развитие, а также позволяет увеличить международный обмен и торговлю.

Надежно работающая и безопасная автомобильная дорога, является одним из рычагов развития производственной и социальной сфер, экономики и национальных ресурсов Республики.

В докладе Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на совместном заседании Законодательной палаты и Сената Олий Мажлиса Республики Узбекистан 12 ноября 2010 «Концепция дальнейшего углубления демократических реформ и формирования гражданского общества в стране» [1] и на заседании «Правительства по итогам социально-экономического развития страны в 2010 году и важнейшим приоритетам на 2011 год» [2] подчеркивал ещё раз о необходимости развития автомобильных дорог .

Кроме того, Президентом Республики Узбекистана И.А.Каримовым последние годы подписаны многие постановления касающейся непосредственно к развитию строительства, реконструкции, автомобильных дорог:

Постановлении от 25 октября 2006 г. № ПП 499 «О мерах по совершенствованию порядка проектирования, строительства и реконструкции автомобильных дорог общего пользования », от 20 декабря 2006 г. № ПП 535 «О мерах по развитию автомобильных дорог общего пользования на 2007-2010 и последующие годы», от 28 февраля 2008г. № ПП 804 «О мерах по реализации проекта развития региональных автомобильных дорог с участием Азиатского банка развития », от 20 января 2009 г. № ПП 1041 «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию производственной и социальной инфраструктуры», от 22 апреля 2009 г. №1103 ПП «О мерах по реконструкции и развитию Узбекской национальной автомагистрали на 2009-2014 годы», от 21 декабря 2010 г. № 1446 ПП «об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах» [2,3,4,5,6,7,8].

В последние годы самым распространенным типом дорожных покрытий являются асфальтобетонные, обеспечивающие требуемую ровность, высокие экологические и эксплуатационные характеристики,

Более 50% дорожных покрытий существующей автомобильной дороги общего пользования нашей Республики имеют асфальтобетонную покрытие. Асфальтобетон, является широко распространенным дорожно-строительным материалом вследствие ряда существенных его достоинств. Покрытия из этого материала медленно изнашивается под действием тяжелого транспорта, они сравнительно прочны и устойчивы к воздействию климатических факторов и воды, безупречны в санитарном отношении, так как не пылят и легко очищаются от наносной пыли и грязи. Пониженная вибрация автомобильного транспорта при движении по дорогам с асфальтобетонным покрытием способствует спокойной езде, а свойство этого материала – поглощать звук от

движущегося колеса – уменьшает шум в городах и населенных пунктах.

Поэтому необходимо продолжить работу по увеличению сроков службы, обеспечению устойчивости к разрушению и трещинообразованию, применению новых высокотехнологических способов ремонта позволяющие без нарушения движения транспортных потоков.

Для строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий необходимо большое количества битум, щебня и песка, поэтому в современных условиях особую актуальность приобретает повторное использование старого асфальтобетона.

Повторное использование старого асфальтобетона не только уменьшает затраты на приобретение новых строительных материалов, а также снижает транспортные расходы.

Повторное использование существующего асфальтобетона можно осуществлять путем его регенерации. Регенерация – в переводе с латинского означает восстановление или возрождение. Применительно к асфальтобетону регенерация – это восстановление старого материала, путем добавления им определенного количества битума, минерального материала и добавки (восстановление прочностных свойств, ровности, шероховатости и т.д.).

В настоящее время большая протяженность асфальтобетонных покрытии дорог общего пользования имеют различные виды разрушения и деформации, что необходимо своевременно произвести ремонтные работы. Для производства ремонтных работ по устранению повреждению и деформации нужны большие затраты.

Вторичное использование старого асфальтобетона имеет экономическое значение, затраты необходимо только для их переработки и добавляемым материалам. Экономические расчеты показывают, что использование регенерированного асфальтобетон может дать народному хозяйству значительную экономию денежных и материальных средств. Повторное использование старого асфальтобетона уменьшает расходы битума и дорожно-строительных материалов.

Появление новых дорожно-строительных машин по удалению старых покрытий, разогреванию и переработке их позволяет ставить вопрос о регенерации на более высокий уровень.

Актуальность проблемы. В настоящее время повторное использования существующих асфальтобетонных покрытия позволяет уменьшить количество применяемых битумов и новых дорожно -строительных материалов по сравнению с обычным асфальтобетоном.

Кроме того, освобождается большого количества транспортных средств и позволяет с экономить электрическую энергию.

Регенирированный асфальтобетон может быть применен в качестве материала для верхнего и нижнего слоев дорожных покрытий, а также оснований.

Регенерации асфальтобетона в нашей Республике мало изучена. Поэтому необходимо провести исследование по применению старого асфальтобетона.

В последнее время в нашей стране осуществляется большой объем

ремонтных работ по повышению транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорогах. Один из путей экономии денежных средств по ремонту автомобильных дорог является применение старых асфальтобетонов

Цель исследования: Повторное использование старого асфальтобетона путем добавления битума, пластификатора и новых минеральных материалов.

Для достижение целью настоящего исследования необходимо решить следующие задачи:

- изучение физико-механического свойства старого асфальтобетона;
- выбор пластификатора для улучшения качества битума и изучение их свойства;
- определение физико-механических свойств регениророванного асфальтобетона

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.

1.1. Литературный обзор о повторном использовании старого асфальтобетона.

В период эксплуатации автомобильных дорог на поверхности асфальтобетонных покрытий образуются различные виды дефектов. Наиболее распространенными дефектами асфальтобетонных покрытий являются износ, шелушение, выкрашивание, выбоины, трещины, сдвиги и волны (дефекты в целом дорожных одежд - просадки, проломы, разрушения кромок, колеи и т. п.) которые невозможно устранить традиционными способами: устройством выравнивающего слоя и одно- или двухслойного покрытия. Кроме того, образуется прослойка, состоящая из разномарочного битума и одномерного щебня, которая является одной из основных причин непрогнозируемых преждевременных разрушений и трудно устранимых дефектов.

Традиционные технологии капитального ремонта асфальтобетонных покрытий не обеспечивают продольной и поперечной ровности, приводят к увеличению расхода битума на подгрунтовку, а также расход материалов для устройства выравнивающего слоя.

С 1970 года в европейских странах начали активно разрабатывать новые технологии ремонта асфальтобетонных покрытий, основанные на работах «в нулевых отметках», без наращивания или с незначительным наращиванием конструктивных слоев дорожной одежды. Наибольшее распространение получила регенерация - верхнего слоя существующего асфальтобетонного покрытия с обогащением его добавками нового материала и укладкой на месте в соответствии с проектным профилем. В зависимости от температуры технологического процесса принято различать горячую и холодную регенерацию. Эти технологии позволяют максимально использовать материал существующего покрытия, существенно сократить транспортные расходы, улучшить проектные характеристики верхнего слоя.

Первое упоминание о регенерации асфальтобетонов встречается в коммерческой брошюре о передвижной асфальтосмесительной установке Уоррена Бродера (США), которая была издана в 1915 году. Описываемый смесительный барабан «нагревал и перерабатывал существующие асфальтобетонные покрытия с отличными результатами и значительным снижением стоимости приготовления смеси».

В начале 30-х годов Н.Х. Тейлором (Великобритания) был разработан и запатентован метод, который предполагал при переработке дробленого асфальтобетона добавление песка или щебня с битумом. Фактически это было первой попыткой направленного изменения свойств перерабатываемого материала.

В 50-е и 60-е годы американская фирма «АСІ» предложила использовать для утилизации отслуживших свой срок асфальтобетонных покрытий

специально сконструированную установку. Данная установка представляла собой смеситель непрерывного действия с двумя рядами инфракрасных нагревателей. Тогда же было использовано введение в перерабатываемый материал «ароматического модификатора асфальта» или свежего битума.

В это же время были опробованы способы холодной регенерации асфальтобетонов, при которых в измельченный утилизируемый материал при перемешивании добавлялись пластификатор, битумная эмульсия и минеральное вяжущее: портландцемент или известь.

В 70—80-е годы энергетический кризис привел к резкому удорожанию дорожно-строительных материалов, особенно вяжущих, что привело к существенному удорожанию горячих асфальтобетонных смесей.

Именно резкое удорожание органических вяжущих повлекло за собой активное изучение проблем регенерации асфальтобетонов. Так, в США в 1970 году было повторно использовано только 50 тыс. т асфальтобетона, а в 1980 году — уже 8 млн. т и в 1985 — 100 млн. т [9]. В Германии в 1984 году, при общем выпуске асфальтобетонных смесей 50 млн. т, 11 млн. было получено на основе повторного использования асфальтобетонов по методу регенерации [2 5]. В Японии в 1985 году было регенерировано 2,5 млн. т асфальтобетона.

В 1984 году по технологии горячей регенерации методом смешения на дороге в шестнадцати странах было отремонтировано более 5 млн. квадратных метров асфальтобетонных покрытий [10].

В 1948 году в Москве на основе переработки старого асфальтобетона было получено 12 тыс. т асфальтобетонной смеси, а в 1950 году для опытного строительства был разработан нормативный документ [11].

В дальнейшем работы в данной области проводились по двум направлениям:

- горячая регенерация асфальтобетонов методом смешения на дороге;
- переработка вторичных асфальтобетонов в заводских условиях.

Для реализации первого направления в 1981 году Главмосдоруправлением был приобретен в Германии термопрофилировщик нового поколения — ремиксер производства немецкой фирмы «Виртген».

Реализация второго направления велась с использованием существующих стационарных асфальтосмесительных установок и получила наибольшее распространение в городском дорожном хозяйстве.

Исследования, связанные с утилизацией вторичных асфальтобетонов в заводских условиях были начаты в середине 60-х годов в Москве трестом Мосасфальтстрой. Этими организациями совместно с ВНИПИтеплопроект была разработана установка для регенерации асфальтобетона производительностью 50 т/ч. За период ее промышленной эксплуатации с 1975 по 1983 год было переработано около 200 тыс. т старого асфальтобетона [12]. Аналогичная установка с 1983 года эксплуатировалась в управлении Киевгордорстрой [13], велось строительство стационарных установок такого типа в Молдавии и Киргизии. С 1983 года в Ташкенте эксплуатировалась установка, построенная Гордорстройремонт, производительность этой установки была 25 тыс. т регенерированных асфальтобетонных смесей в год

[14].

В 1980 году для эксплуатации в управлении «Дормост» г. Ленинграда была приобретена стационарная установка непрерывного действия «Реноватор» финской фирмы «Машинери», такая же установка работала в г. Рига [15]. В 1986 году трест Мосасфальтстрой приобрел регенерационную установку барабанного типа TSM-17L производства французской фирмы «Эрмонт».

К концу 80-х годов в стране были созданы материально-технические предпосылки для широкого освоения технологий регенерации и повторного использования битумоминеральных материалов.

Всплеск интереса к проблемам повторного использования материалов асфальтобетонных покрытий приходится на середину 90-х годов. В это время энергетический кризис распространился на территорию стран постсоветского пространства, а реалии экономической ситуации требовали от производителя поиска путей снижения себестоимости продукции при одновременном повышении качества и увеличения темпов работ.

В этих условиях использование технологий повторной переработки материалов является естественным выходом. Наиболее широкое распространение технологии регенерации получили при реализации проекта реконструкции автомобильной дороги М-1 (Е-30) на территории Российской Федерации в рамках программы ПРАД за счет займа Всемирного банка. Это было вызвано необходимостью производства работ по «реабилитации» транспортной магистрали на большом протяжении с элементами реконструкции и нового строительства в краткие сроки без закрытия транзитного движения по автомобильной дороге.

Использование технологий регенерации позволило обеспечить:

- высокие темпы работ;
- безопасность движения при производстве работ в условиях непрекращающегося движения;
- высокое качество работ при сравнительно низкой их стоимости;
- экологическую безопасность работ и экономию материальных ресурсов.

Важнейшим аспектом, который следует учитывать при регенерации асфальтобетонов, является степень изменения качественного состояния исходного материала при эксплуатации автомобильной дороги. Асфальтобетон в покрытии автомобильной дороги находится под воздействием не только транспортной нагрузки, но и агрессивным воздействием природно-климатических факторов, особо следует учитывать фактор времени.

Старение и деструкция асфальтобетона под воздействием совокупности эксплуатационных и природно-климатических факторов являются одной из основных причин ограниченной долговечности асфальтобетонных покрытий.

Исследование долговечности асфальтобетонов и процесс его старения в дорожном покрытии и проводились многими учеными, среди которых: Ж.

Аррамбид, Л.В.Билай, А.М. Богдасаров, И.М. Борщ, М.И. Волков, Л.Б. Гезенцевей, Л.Р.Давыдова, М.Дюрье, Е.П.Железко, Н.Н.Иванов, В.М.Козлова,А.С. Колбанов-ская,В.Н.Кононов,И.В.Королев,В.И. Ладыгин, А.И. Лысихина, В.В. Михайлов, Я.Н.Махмудов, В.К.Некрасов, К.Г. Печеный, Г.А.Попандопола, Н.Ф. Почанский, В.А. Ромаданов, И.М. Руденская, А.В. Руденский, И.А. Рыбьев, П.В. Сахаров, Г. К. Сюнью, Н. Эверс и др.

Исследования показывают, что характеристики прочности и информативности дорожных асфальтобетонных покрытий в процессе эксплуатации не остаются постоянными, а претерпевают непрерывные изменения.

Характеристики покрытия в значительной степени определяются особенностями свойств асфальтобетона, который является термопластическим материалом и обладает сложным комплексом физико-механических свойств, меняющихся в широких пределах и зависимости от температуры и других условий деформирования.

Изменения прочностных и деформативных свойств асфальтобетона в покрытии могут носить как обратимый, так и необратимый характер. Из-за значительного влияния температуры воздуха и действующих различных нагрузок сроки службы асфальтобетонных покрытий не отвечает требованиям

Транспортно-эксплуатационные характеристики асфальтобетонных покрытий претерпевают в течение срока службы существенные изменения, связанные с циклическим характером колебания температур, воздействием неоднородного транспортного потока, переменными условиями воздействия солнечной радиации, влажности и других факторов.

Как показывают исследования А.В. Руденского [16], температурный режим покрытия является одним из основных факторов, определяющих изменение характеристик асфальтобетона в процессе эксплуатации. В соответствии с циклическими изменениями температуры воздуха и интенсивности солнечной радиации температура асфальтобетонного покрытия также претерпевает циклические изменения.

А.И. Лысихина также к числу факторов, определяющих старение асфальтобетона под действием окружающей среды, относит влияние солнечной радиации, температуры воздуха и взаимодействие материала с кислородом, содержащимся в воздухе [17].

И.М. Руденская отмечает [18], что результатом физико-химических процессов старения асфальтобетона является значительное изменение состава и структуры битумов, содержащихся в материале, а также их реологических свойств за счет синерезиса дисперсной структуры органического вяжущего.

Известно, что в процессе старения нефтяных дорожных битумов происходит их уплотнение и усадка, что в свою очередь приводит к появлению в битумах растягивающих (усадочных) напряжений. Поэтому в результате длительной эксплуатации асфальтобетонного покрытия при резких и многократных перепадах температур, под воздействием кислорода воздуха и

ультрафиолетового излучения происходит старение органического вяжущего, особенно в верхнем слое покрытия, это приводит к потере монолитности с образованием трещин, сколов и других признаков разрушения.

По мнению И.А. Рыбьева [19], за временным упрочнением структуры вновь уложенного в покрытие асфальтобетона наступает период прогрессирующего ухудшения свойств этого материала: потеря пластичности и деформативности, приобретение асфальтобетоном нежелательной хрупкости и т.д. Это подтверждается результатами исследований Б.И. Ладыгина [20] и В.В. Михайлова [21].

Как показывают исследования Г.К. Сюньи [22], наряду с влиянием на асфальтобетон атмосферных факторов, вызывающих снижение когезионных, адгезионных, пластических и других свойств материала, процессы старения органического вяжущего значительно снижают сопротивляемость асфальтобетона трещинообразованию. Установлено, что наибольшие изменения свойств битума и асфальтобетона происходят в первые 3...5 лет эксплуатации асфальтобетонного покрытия.

По данным исследований Н.Ф. Почанского, при старении значительно ухудшаются показатели деформативности, морозостойкости и износостойкости асфальтобетона, а наиболее уязвимыми компонентами к старению являются битум и щебень [23].

Л.В. Билай в работе [24] показала, что протекающие в битумах процессы старения и деструкции основаны на изменении физико-химического состава этих высокомолекулярных веществ.

Под старением подразумевается совокупность всех химических и физических процессов, приводящих со временем к изменению структуры и свойств вяжущего.

Согласно теории Н.Н. Семенова, несмотря на многообразие явлений при разрушении углеводородов, основную роль играют цепные процессы окисления и распада цепей. Описание таких ценных реакций с вырожденными разветвлениями дается в работа И.М. Эммануэля [25].

Большинство исследователей сходятся во мнении, что, несмотря на чрезвычайно сложный, недостаточно однородный состав битумов, процессы последовательных превращений одних компонентов в другие являются относительно общими. Механизм этих явлений можно изобразить следующей схемой: УГЛЕВОДОРОДЫ (МИНЕРАЛЬНЫЕ МАСЛА) — окисление — СМОЛЫ — окисполимеризация — АСФАЛЬТЕНЫ — КАРБОИДЫ — КАРБЕНЫ [26].

Необходимо отметить, что скорость старения дорожных битумов, полученных по технологии окисления, выше скорости старения неокисленных битумов, получаемых глубоковакуумной перегонкой мазута или компаундированием асфальтенов с разбавителем. То есть битумы со структурой, близкой к «гелю», стареют заметно быстрее, чем битумы со структурой типа «золь». В любом случае наибольшая интенсивность старения наблюдается

и тонких пленках битума.

По данным А.С. Колбановской и В.В. Михайлова [27], изменения состава и свойств битума обусловлены не только оксиполимеризацией и полиоксиконденсацией, но и испарением летучих составляющих, как правило -масел. Установлено, что при содержании в органическом вяжущем 37-38 % асфальтенов наступает период потери работоспособности асфальтобетонного по покрытия.

Временное изменение состава и свойств битума изучалось И.В. Королевым [28]: повышается вязкость битума, снижается его пластичность, увеличивается содержание смолисто-асфальтеновой части и сокращается количество углеводов (масел). Например, температура хрупкости битума из асфальтобетона, находившегося в эксплуатации 6 лет, изменилась от минус 18 до минус 10 °С, температура размягчения повысилась соответственно от плюс 48 до плюс 59 °С. Отмечается также взаимосвязь скорости старения битума в асфальтобетоне с интенсивностью движения на дороге (интенсивностью и периодичностью транспортной нагрузки). На опытном участке под движением транспорта содержание асфальтенов в битуме возросло от 20,4 до 28,9 %, а на эталонном (без движения) — от 20,4 до 27,5 %.

В условиях воздействия на асфальтобетонное покрытие потока автотранспорта реальные условия разрушения наиболее близко имитирует метод динамической усталости, который предполагает испытание асфальтобетона на прочность при изгибе в условиях многократного приложения нагрузок.

Сравнительные данные об усталостной долговечности асфальтобетонов разного состава при изгибе с постоянной амплитудой деформации показали, что коэффициент усталости слоя асфальтобетонного покрытия зависит в значительной степени от состава асфальтобетона, вязкости и содержания битума, а также от пористости асфальтобетона.

В работе В. Милковского [29] рассмотрены причины старения битума, проанализирован групповой состав органических вяжущих (масла, смолы, асфальтены) и дано описание существующих методов оценки старения битумов, наиболее распространенными из которых являются методы Тракслера и Шельбы.

Как показывают исследования французских ученых, глубина проникания иглы в отработавших свой срок битумах при температуре 25 °С равна 8...35 %, а содержание асфальтенов 18...25 % и более [30].

Некоторые исследователи, например Р. Тракслер, считают, что наряду с механическим и химическим старением асфальтобетон подвергается интенсивному биологическому старению под воздействием микроорганизмов [31].

Особое внимание следует уделять проблеме так называемого «технологического старения» органических вяжущих. Результаты исследований В. Панэкса [32] показывают, что реологические характеристики битумов после кратковременного пребывания его в зоне высоких температур

при перемешивании с каменными материалами в асфальтосмесительной установке изменяются значительно больше, чем после последующего 19-летнего нахождения в составе дорожного покрытия, где температура не превышает 70 °С. Этот вывод подтверждается и в других работах [33,34,35]. Данное обстоятельство требует использования «щадящего» температурного режима нагрева битума при приготовлении асфальтобетонных смесей. Это особенно важно при регламентации технологических процессов переработки вторичных асфальтобетонов по методу горячей регенерации.

Вместе с тем в работе [36] высказывается мнение, что при формировании в битуме структурной сетки асфальтобетона с образованием новых контактов и связей, увеличением количества кислородосодержащих соединений регенерация вторичного материала не вызовет ухудшения его свойств, наоборот, физико-механические свойства материала улучшатся. Но если процесс старения битума вступил в стадию разрушения структуры, то повторная переработка асфальтобетона ускорит этот процесс. Чем больше будет температура нагрева материала при переработке, тем больше степень ухудшения его свойств.

Важным с точки зрения изучения временных изменений реологических свойств органических вяжущих является разработка простых и надежных способов определения вяжущих и мистифицирующих материалов.

Как правило, используется метод распознавания соединений маличных классов и групп по их избирательному отношению к растворителям и адсорбентам.

Широко применяется методика разделения, в котором адсорбированные на силикагеле вещества последовательно вытесняются несколькими веществами, а масла и смолы (мальтеновая часть битума) различают по коэффициенту преломления [37].

При составлении метода определения содержания асфальтово-смолистых веществ (ГОСТ 11858-66) использовался принцип «колоночной хроматографии» — разделения компонентов битума с использованием порошковых адсорбентов [36].

Перечисленные методы позволяют достаточно четко разделить компоненты вяжущего на группы химических: соединений, по количественный анализ при использовании этих способов достаточно сложен.

Французские ученые предложили метод определения состава битума путем разделения химических составляющих с разной молекулярной массой во время прохождения разжиженным битумом пористого материала с определенным расположением пор [38].

Теоретические основы и принципы регенерации асфальтобетонов изложены в трудах отечественных и зарубежных ученых: Л.М. Алиева, М. Акихида, Ж. Аррамбида, Г.С. Бахраха, Л.В. Билай, Ж. Бичерова, А.М. Богуславского, М.И. Волкова, Л.Б. Гезенцева, Н.П. Глуханова, В.М. Гоглидзе, П.В. Горелышева, Г.С. Горлиной, К.Э. Горяйнова, Ф. Граггера, М. Дюрье, Н.Н. Иванова, Э.Б. Ильева, А.С. Колбановской, П.В. Королева, А.П.

Лупанова, А.И. Лысихиной, Ф. Миглиори, В.В.. Михайлова, В.В. Перегудова, В.Ф. Полойко, П.Л. Рединберга, И.М. Руденской, И.А. Рыбьева, П.В. Сахарова, В.11. Соломатова, Г.К. Сюньи, А.А. Тимофеева, К. Х. Усманова, и др.

Все исследования подтверждают принципиальную возможность восстановления первоначальных свойств асфальтобетона, который прослужил или не прослужил установленные сроки в покрытии, но утратил необходимые транспортно-эксплуатационные качества.

А.М. Алиев [39] основным путем разработки рациональных способов регенерации асфальтобетонов считает оптимизацию структуры и свойств этого материала и содержащегося в нем органического вяжущего, а также соблюдение щадящего метода тепловой обработки.

А.М. Алиев предлагает рассматривать длительно эксплуатировавшийся асфальтобетон как конгломерат, содержащий минеральный материал, претерпевший естественную активацию своей поверхности. В результате нагрева такого материала образуется по существу новая асфальтобетонная смесь, к которой применимы основные закономерности, присущие асфальтобетонам, которые приготавливаются на основе активированных минеральных материалов. Регенерированные асфальтобетонные смеси приобретают новую, вторичную структуру. Это касается количества содержащегося в смеси битума и характера его распределения, расположения минеральных зерен, особенностей поровой структуры. Все вышперечисленное предопределяет изменение структурно-механических свойств асфальтобетона в процессе регенерации.

Многие исследователи подчеркивают необходимость системного подхода к изучению битумо-минеральных материалов, особенно регенерированных асфальтобетонов. С теоретической точки зрения поведение и свойства регенерированных асфальтобетонов достаточно точно описываются теорией искусственных строительных конгломератов, разработанной И.А. Рыбьевым [40], согласно которой существуют закономерности их структурной прочности и взаимосвязь СТРУКТУРА — СОСТАВ — СВОЙСТВА.

В.И. Соломатов [41] предложил обобщенную зависимость прочности связующего композиционных строительных материалов от отношения вяжущего вещества к наполнителю. При этом он выделил пять характерных областей:

- область несвязной структуры;
- область недостатка вяжущего;
 - область с содержанием вяжущего, близким к оптимальному;
- область с избытком вяжущего;
- область «чистого» вяжущего вещества.

Многие специалисты обращают внимание на так называемый «избыток вяжущего» в регенерированной асфальтобетонной смеси, возникающий при простой переработке старого асфальтобетона при нагреве [42].

Л.Б. Гезенцевей [43] объясняет это явление тем, что при мнительном

перемешивании битумоминеральной смеси (регенерации асфальтобетона, как правило, обязательно сопровождается длительным перемешиванием) битум распределяется более тонкими пленками, это и приводит к образованию лишнего объемного вяжущего вещества в смеси. Кроме того, сказывается и естественная активация минеральных зерен старого материала: в этом случае количество битума, введившееся при первоначальном приготовлении асфальтобетонной смеси из неактивированных материалов, оказывается завышенным в регенерированной смеси с естественно активным минеральным наполнителем. Для устранения указанного существенного недостатка специалисты рекомендуют при приготовлении регенерированных асфальтобетонных смесей вводить в их состав инертные минеральные материалы.

Корректировка гранулометрического состава регенерированных асфальтобетонных смесей рекомендуется, кроме того, в связи с измельчением и дезинтеграцией минерального наполнителя асфальтобетона, которая происходит в процессе эксплуатации асфальтобетонных покрытий под действием транспортной нагрузки, **считается целесообразным вводить до 10...20 % новых каменных материалов по массе [44].**

Важнейшим критерием успешной регенерации асфальтобетона является восстановление первоначальных или желаемых в каждом конкретном случае свойств органических вяжущих.

И.М. Руденская и А.В. Руденский [45] показали, что для восстановления свойств битума в большинстве случаев требуется его пластификация за счет добавления менее вязкого битума, гудрона, высокоароматизированных тяжелых нефтяных фракций (например, экстрактов селективной очистки масел) и других аналогичных материалов. Рекомендуется в зависимости от желаемого результата **вводить в старый асфальтобетон 8... 12 % от массы содержащегося в нем битума пластифицирующих добавок.**

Э.Б. Ильев [44] исследовал пластификацию дорожного асфальтобетона в покрытии путем добавления сверх 100 % асфальтобетонной смеси по массе небольших от 0,3 до 0,7 % добавок мазута М-40, гудрона и дегтя Д-3. В качестве пластификаторов для «омоложения» битума достаточно успешно исследовались гудрон, мазут, моторная нефть, экстракты селективной очистки масляных фракций, антраценовое масло, госсиполовая смола (хлопковый гудрон) и другие углеводородные вещества.

Положительные результаты получены в Гипродорнии при разработке хорошо совместимого с битумом эффективного и недефицитного пластификатора, который способен восполнить в битуме недостаток масел. **Для этих целей был предложен побочный продукт нефтеперерабатывающей промышленности с дозировкой от 0,2 до 0,4 % от массы регенерируемой смеси [46,47].**

Для развития теории регенерации асфальтобетонов несомненный интерес представляют исследования Л.В. Поздняевой [47], которая с помощью полугудрона, гудрона, жидкого битума, экстрактов селективной очистки масел осуществляла пластификацию природного тугоплавкого битума (асфальтита Садкинского месторождения) с температурой размягчения 204 °С и содержи-

ем асфальтенов около 70 %. В результате компаундирования асфальтита с пластификаторами была достигнута возможность получения различных марок вязких дорожных битумов, удовлетворяющих нормативным требованиям.

В работах, проводившихся в Госдорнии [48] при разжижении асфальтосмолистого концентрата использовали тяжелую нефть, что позволило получить органическое вяжущее, превосходящее практически по всем показателям битумы, приготовляемые по традиционной технологии — окислением.

В Германии для регенерации состарившегося битума используют менее вязкие углеводородные вяжущие и мазут [49]. Рекомендуемая добавка этих нефтепродуктов **составляет 5...40 % от массы вяжущего в зависимости от заданных параметров санированного битума.**

Французские специалисты рекомендуют для восполнения потери мальтенов при старении асфальтобетонов вводить специальные битумы производства компании «Шелл» или вяжущие с пониженным (2...9 %) содержанием асфальтенов [50].

В Японии исследования срока службы регенерированных асфальтобетонов ведутся с 1983 года, там разработаны специальные добавки, имеющие плотность от 0,928 до 1,016 т/м³ и вязкость при 60 °С от 22 до 1040 сантипуаз [51].

Зарубежные специалисты рекомендуют применять для «омоложения» отработавших свой срок органических вяжущих широкий спектр добавок с коммерческими названиями: «Рекламонт», «Циклоген», «Жильбинд», «Нуфлекс 330» и др.

Положительные результаты восстановления свойств битумов были получены В.Ф. Полуйко [35]. Были проведены исследования модифицированного битума. В качестве модифицирующего компонента применялся нефтяной гудрон. Вязкость гудрона по стандартному вискозиметру при 60 °С находилась в пределах от 15 до **600** сантипуаз, вязкость исходного битума — **90/10**.

Вместе с тем введение в отработанный битум только пластификатора, который восстанавливает пластичность вяжущего, может привести к ослаблению структурного асфальтенового каркаса. В связи с этим специалисты рекомендуют совместное введение в битум пластификатора и структурообразователя (чаще всего используется термоэластопласт ДСТ-30) [52].

С экономической точки зрения введение в битум при санации полимера значительно удорожает технологию восстановления нижущего. Ученые АН Республики Беларусь предлагают в связи этим в качестве структурообразователя использовать строительные битумы марок БН 70/30 и БН 90/10. В качестве пластификатора — остаточный масляный экстракт, образующийся в процессе селективной очистки масел. Рекомендуемое соотношение строительный битум — масляный экстракт 60:40 % по массе (реальное соотношение должно нормироваться в каждом конкретном случае регенерации).

К числу специфических требований, которым должны соответствовать восстанавливающие добавки, относится необходимость химической совместимости смешиваемых веществ. Кроме того, добавки должны иметь как можно меньшую склонность к старению, которая оценивается давлением (упругостью) паров этих жидкостей при технологических и эксплуатационных температурах.

По характеру воздействия на битум С.Н. Попченко [53] классифицирует добавки следующим образом:

- добавки, вводимые в дисперсную среду органического вяжущего, являются пластифицирующими;
- добавки, вводимые в дисперсную среду, — структурирующими.

Битумы относятся к высокомолекулярным соединениям нефти, поэтому направленное регулирование их свойств основано на общих закономерностях механизма пластификации полимеров, которые рассматриваются в работах В.А. Каргина и Г.Л. Слонимского [54], И.К. Барамбойма [55], П.В. Козлова и СП. Папкина [52]. Эти работы показывают, что основной технологической задачей пластификации является достижение максимально возможной гомогенизации этой смеси. Пластификаторы должны обладать малой упругостью паров (пониженной летучестью), чтобы обеспечить заданную длительность сохранения свойств полимерной или битумной системы.

Причиной неравномерности пластифицированных систем может быть незавершенность гомогенизации компонентов при получении композиции или гетерогенность из-за выхода системы за критические параметры совместимости полимера и пластификатора. Специалисты рекомендуют предусматривать «технологический запас» по составу композиции и по ее свойствам из-за возможного испарения пластификатора при высоких температурах. С этой точки зрения под старением пластифицированной системы следует понимать ее стремление к равновесному состоянию.

А.С. Пушкаренко [56] считает, что для понижения температуры хрупкости и расширения интервала пластичности битумов необходима внутренняя пластификация асфальтенов. Такими потенциальными возможностями обладают смолы, которые не растворяются в феноле, они являются эффективными пластификаторами асфальтенов [57].

Исследователи процессов регенерации асфальтобетона указывают, что часто при определенных условиях перемешивания происходит «двойное обволакивание» минеральных зерен органическими пленками, что может привести к снижению деформативной устойчивости регенерированных асфальтобетонов [58].

В большинстве научных исследований, посвященных пластификации асфальтобетонов, предполагается, что пластификатор равномерно распределяется в общей массе органического вяжущего. Вместе с тем при введении пластификатора в регенерированную асфальтобетонную смесь он будет взаимодействовать не со всем битумом, а только с тем, который содержится на поверхности агрегатов. В процессе уплотнения асфальтобетона

агрегатные частицы деформируются и пластификатор перераспределяется тонкими (примерно 1 мкм) пленками на агрегатных зернах. Кроме того, за счет диффузии в периферийную часть битумной пленки низкомолекулярных углеводородов пластификатора прослойка вяжущего может частично размягчаться.

Модель диффузии и процессов испарения разжижающих добавок в битумных пленках предложена Е. Диккинсоном [59].

Проблема оптимального состава и количества восстанавливающих добавок, вводимых при регенерации, полностью не изучена. Как правило, искомую вязкость битума определяют по эмпирической зависимости Чентолани [60].

С технологической точки зрения важнейшим при регенерации асфальтобетонов являются термомеханические параметры ее режимов, в первую очередь — разогрева асфальтобетонной смеси. Все исследователи сходятся во мнении, что для предотвращения выгорания (деструкции) углеводородного вяжущего, обволакивающего зерна минеральных материалов, нагрев должен быть «щадящим». Вместе с тем это может существенно снизить производительность технологического процесса регенерации.

Для разогрева асфальтобетона в процессе регенерации чаще всего применяют тепловую энергию инфракрасного излучения [61,62,63]. Это проникающее тепловое излучение позволяет осуществлять интенсивный разогрев, не вызывая перегрева поверхностных слоев и ухудшения свойств асфальтобетона.

Аналогичный результат достигается также при разогреве асфальтобетонного покрытия с помощью микроволнового (ВЧ, СВЧ) излучения [64,65,66].

При регенерации асфальтобетона в стационарных установках разогрев измельченного асфальтобетона осуществляют, как правило, с помощью конвективного обмена с топочными газами, которые имеют температуру ниже, чем в сушильных барабанах, а также перегретым паром и горячей водой [67,68].

1.2. Выводы по главе 1.

Проведенный литературный обзор о повторном использовании старого асфальтобетона показывает что.

ГЛАВА 2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Обоснование выбора материалов и их характеристики.

При каждом воздействии нагрузки от транспортного средства в зависимости от его веса дорожная одежда прогибается на некоторую величину и затем восстанавливается. За счет этого происходит взаимное перемещение отдельных частиц материалов, составляющих дорожную одежду, их измельчение и ослабление структурных связей между ними.

Известно, что в процессе эксплуатации автомобильных дорог, под воздействием повторных кратковременных нагрузок, передающих от транспортных средств и погодно-климатических факторов снижаются прочности структурных связей особенно асфальтобетонных покрытий. Вследствие этого на поверхности асфальтобетонных покрытий появляются различные виды деформации.

С каждым годом на эксплуатации автомобильных дорог уделяется все большее внимание по обеспечению транспортно-эксплуатационных показателей. Для обеспечения транспортно-эксплуатационных показателей дорог необходимо произвести своевременно ремонтные работы.

По данным российских ученых при ухудшение состояния асфальтобетонных покрытий, ориентировочно скорость движения снижается на 40-60%, производительность транспортных средств уменьшается на 30-40 %, а себестоимость перевозки увеличивается на 50-60%.

Поэтому в период эксплуатации автомобильных дорог своевременно произвести ремонтные работы. Для производства ремонтных работ в настоящее время требуются большие расходы. Одним из экономии расхода для ремонтных работ является использования старого асфальтобетона на автомобильных дорогах.

С целью повторного использования старого асфальтобетона нами были выбраны вырубки из верхнего слоя покрытия на 24-26 км автомобильной дороги 4Р20 «Карасув-Бука-Бекабад».

Полученные вырубки из верхнего слоя старого асфальтобетона доставлены в лаборатории для изучения его свойства и о возможности их повторного использования путем добавления битума, пластификатора и минеральных материалов.

Для проведения лабораторного анализов нами были выполнены следующие работы:

1. По ГОСТу 9128-2009 было определено следующие показатели старого асфальтобетона: плотность, водонасыщение, водостойкость, предел прочности при сжатии (при температуре 20°C и 50°C), содержание битума и зерновые составы минеральной части асфальтобетонной смеси.

2. Определение свойства битума марки БНД 60/90 по ГОСТ 22245-90.

3. Выбор и определение свойства пластификатора **.(Свойства**

поверхностно-активных веществ – моноэтаноламина).

4. Определение физико- механических свойств битума с добавкой пластификатора.

5. Определение физико- механических свойств регенирированного асфальтобетона.

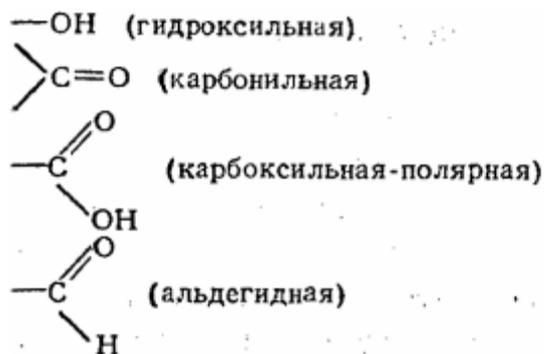
2.2. Методика проведение исследований

2.2.1. Определение свойства битума

Битум, как материал, представляющий смесь высокомолекулярных углеводородов нефти и их гетеропроизводных, содержащих кислород, серу, азот и металлы. Один из них – битум БНД 60/90. Как показала практика, большинство производимых в нашей стране битумов по отдельным физико-механическим свойствам не отвечает требованиям технических норм. Химические составы всех видов битумов достаточно близки между собой. Битумы содержат от 70 до 87 % углеводорода С; до 15 % водорода Н; до 2 % кислорода O_2 ; до 1,5 % серы S, а в природных битумах до 10 %; доли процента азота N, следы металлов V, Ni, Co, Fe, U¹. Как в любом материале (в цементе, камнях, керамике, металлах, древесине, пластмассах, красках и т.д.), их химический состав позволяет получить ответ только о материальном балансе элементов, из которых построены компоненты, слагающие материал.

Химические элементы, организованные в твердых телах в виде минеральных ассоциации- минералов, в жидких телах – геологических

образованиях, организованы природой процессов на генезисе в различные производные углеводороды – специфические в органическом мире функциональные группы. Эти группы и являются основными для изменения химических свойств органических молекул. Из таких групп, имеющих прямое отношение к органическим веществам, следует назвать[29]:



- C=C- (углерод-углеродная двойная связь)
- C≡C- (углерод-углеродная тройная связь)
- OOR – (сложноэфирная)
- CH₂ = метилен и CH метил в радикал R¹.

Радикалы имеют различные атомность (от одно – до многотомных).

Примеров однотомного радикала является сульфоксиль.

Как видно из элементарного химического состава, битуме количественные преобладают два элемента: углерод и водород.

Такие химические соединения называются углеводородные. Углеводороды – часть большой группы соединения углерода с водородом, кислородом, азотом, галоидами, серой, фосфором и некоторые другими элементами.

Свойства битума оценивают по: условной вязкости, характеризуемой глубиной проникания стандартной иглы при 25 и 0° С; деформативной способности, характеризуемой растяжимостью стандартного образца битума при температуре 25 и 0° С; температуре размягчения и температуре хрупкости,, характеризующим температурный переход битума из вязкоупругого в текучее и из вязкоупругого в хрупкое состояние (так называемый интервал пластичности); адгезии и активности битума по отношению к каменным

материалам, определяемым по сцеплению с мрамором или песком; стабильности свойств битума при высокой температуре, характеризуемой изменением температуры размягчения после погрева, устойчивости битума под воздействием атмосферных факторов, характеризуемой содержанием в нем водорастворимый соединений; индексу пенетрации, характеризующему температурную чувствительность битума в области эксплуатационных температур; способности битума не возгораться при технологических температурах, характеризуемой температурой вспышки.

Марку, вязкого битума в производственных условиях определяет по глубины проникания, температуре размягчение, растяжимости, температуре хрупкости и индексу пенетрации. Марку вязкого битума обозначают БНД или БН числовым индексом, показывающим интервал изменение глубины проникание иглы. Например БНД 60/90 – битум нефтяной дорожный с пределами глубины проникания иглы. (60...90)⁻¹мм. по ГОСТ 22245-90 (см. таблицу 2.1).

Нами было произведено в лабораторных условиях испытания по определению показателей битума следующим образом: с начало образцы битума обезвоживает осторожным неногреванием до температуры на 80...100°C. Обезвоженным и расплавленный битум необходимо процедить сквозь металлическое сито № 07 и тщательно перемещать до полного удаления пузырьков и воздуха.

Таблицы 2.1

Показатели	Марка БНД 60/90
Глубина проникания иглы при: 25°C 0°C, не менее	61-90 20
Температура размягчения по кольцу и шару, °C, не ниже	47

Растяжимость, см, не менее:	при 25°С 0°С	50 3.5
Температура хрупкости, °С, не выше		-15
Температура вспышки, °С, не ниже		220

Определение глубины проникания иглы.

Глубина проникания иглы, являясь характеристикой условной вязкости битума, определяется путем измерения глубины погружения иглы. Перентрометра в образец битума под нагрузкой $(100 \pm 0,25)$ г. в течение 5°С при температуре 25°С или под нагрузкой 200 г в течение 60°С при температуре 0°С . Показатель глубины проникания иглы является ведущим при разделении битумов на марке.

Опорная площадка пенетрометра *1*, снабжена тремя установочными винтами. Для приведения ее в горизонтальное положение к опорной площадке пенетрометра прикреплены стойки кронштейнами и вращающийся предметный столик для установления кристаллизатора *бс* металлической чашкой содержащей испытуемый битум. На верхнем кронштейне укреплены лимб, разделенный на 360° и кремальерах. Каждый градус лимба отвечает погружению иглы на 0,1 мм на нижнем кронштейне. Закреплен свободно подающий стержень 4 см иглы и грузом стержень фиксирует стопорной кнопкой.

Предварительно обезвоженный и расплавленный битум заливают в металлическую чашку цилиндрической формы так, чтобы поверхность битума была не более чем на 5 мм ниже верхнего края чашки. Битум тщательно перемешивают для полного удаления пузырьков воздуха. Для битумов с глубиной проникания иглы (пенетрацией) до $250 \cdot 10^{-1}$ мм высота чашки должна быть (35 ± 2) мм, для битумов с пенетрацией более 250 – (60 ± 2) мм. Чашку с битумом охлаждают на воздухе при температуре $(25 \pm 5)^\circ \text{С}$. Продолжительность охлаждения битума с пенетрацией до 250 равна 60...75 мин а для битума с

пенетрацией более 250 – 75...90 мин.

По истечении этого времени чашку помешают в водяную баню объемом не менее 10 л и высотой не менее 200 мм так, чтобы расстояние между дном чашки и дном бани было не менее 50 мм, а высота слоя воды над битумом была не менее 100 мм. Температура воды в бане поддерживается равной $(25 \pm 0,1)^\circ\text{C}$. Столик пенетromетра приводят в горизонтальное положение по уровню или отвесу и с помощью тарировочного стержня высотой 50 мм проверяют правильность показаний прибора. После выдерживания чашки с битумом в водяной бане 60...75 мин ее помещают в кристаллизатор вместимостью не менее 1 л, наполненный водой так, чтобы она покрывала битум слоем не менее 10 мм. Температура воды в кристаллизаторе равна $(25 \pm 0,1)^\circ\text{C}$.

Кристаллизатор устанавливают на предметный столик. Пользуясь зеркалом, приводят иглу в соприкосновение с поверхностью битума в месте, отстоящем от стенок чашки не менее чем на 10 мм. Кремальеру доводят до верхней площадки стержня, несущего иглу, и устанавливают стрелку лимба на нуль или берут отсчет. После этого включают секундомер и одновременно нажимают на стопорную кнопку прибора, давая игле свободно входить в образец в течение 5 с. После этого кнопку отпускают. Затем доводят кремальеру до верхней площадки плунжера с иглой и берут отсчет по лимбу. Разность второго и первого отсчетов дает глубину проникания. Определение повторяют не менее 3 раз в местах, отстоящих друг от друга не менее чем на 10 мм. После каждого погружения иглу извлекают из битума и перед новым погружением отмывают кончик стержня бензином или другим растворителем и насухо вытирают по направлению к острию.

В случае определения глубины проникания иглы при 0°C , что требуется при оценке качества битумов марок БНД, продолжительность охлаждения битума на воздухе составляет 60...90 мин, температура воды в бане со льдом должна быть $(0 \pm 0,1)^\circ\text{C}$. Образец выдерживают в бане 60... 90 мин. Температура воды в кристаллизаторе в процессе испытания должна быть $(0 \pm 0,1)^\circ\text{C}$.

За глубину проникания иглы принимают среднее арифметическое из трех

результатов параллельных определений. Допускаемое расхождение между результатами трех параллельных определений не должно превышать для битумов с глубиной проникания от 0 до 40 —2°, для битумов с пенетрацией 40... 130—4,130...250—6, а для битумов с пенетрацией выше 250 это расхождение не должно превышать от среднего арифметического результата.

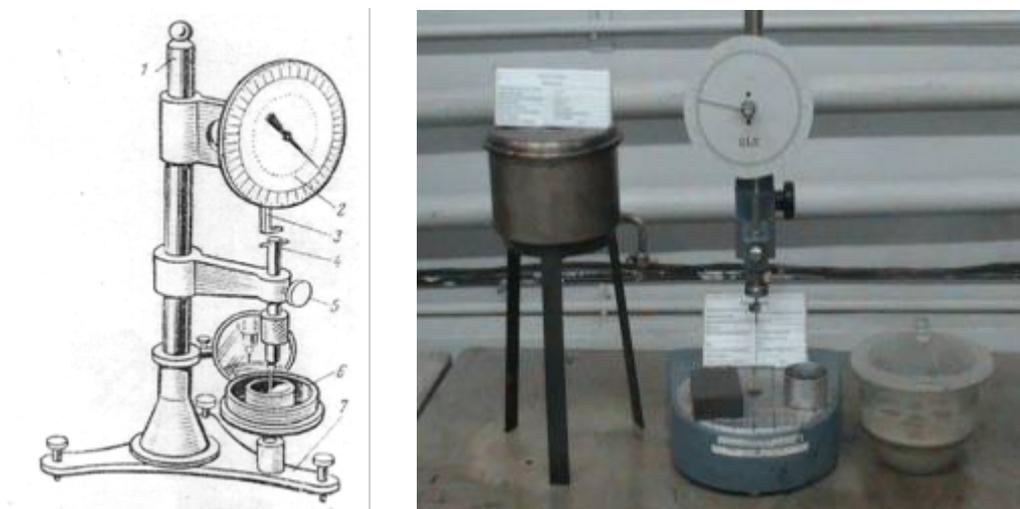


Рис 2.1. Пенетрометр.

Показатель вязкости битума при данной температуре определяют как среднее арифметическое из результатов трех измерений, если отклонение результатов параллельных испытаний от среднего арифметического не превышает 10%.

Определение температуры размягчения битума, определяемой по методу «кольцо и шар».

Характеристика вязкости битума по глубине погружения в испытуемый образец стандартной иглы широко применяется за рубежом. Для этого испытания приняты следующие стандартные условия: нагрузку на иглу 100 г, продолжительность погружения — 5 сек. Глубина проникания (пенетрация) измеряется в условных единицах — градусах пенетрации. Определение производится при температуре битума +25° колеблется в пределах от 41 до 200 и более.

Температура размягчения битума является также условным показателем, характеризующим его вязкость при более высоких температурах. Этот показатель, определяемый на приборе «кольцо и шар», получил широкое распространение во многих зарубежных странах. Сущность определения заключается в следующем: кольцо определенной высоты и диаметра заполняется слоем битума, на который укладывается стальной шарик. Кольцо с битумом, погруженной в стакан с водой, нагревается со скоростью 5° в минуту до тех пор, пока шарик не пройдет через кольцо. Температура битума, замеренная в этот момент, и принимается за температуру размягчения.

Температура размягчения вязких дорожных битумов колеблется в пределах от $+25^{\circ}$ до $+50^{\circ}$ и выше. При оценке качества битума важное значение приобретает соотношение между показателем глубины проникания и температурой размягчения. Исходя из условий работы в дорожном покрытии, более целесообразно применение битумов, у которых при данной температуре размягчения более высокий показатель глубины проникания. Это будет означать относительно меньшую восприимчивость битумов к изменению температуры.

Кроме рассмотренных двух характеристик вязкости, существует и ряд других. В частности, определенных интерес представляют характеристики вязкости при пониженных или отрицательных температурах. Одной из них является температура хрупкости, определяемая на приборе Фрааса. Тонкий слой битума наносится на металлическую пластинку. В указанном приборе пластинка подвергается изгибанию при равномерно снижающейся температуре. Температура, замеренная в момент появления излома в испытуемом слое битума, и принимается за температуру хрупкости.

Она означает ту наименьшую температуру, при которой битум теряет вязко-пластические свойства и переходит в хрупкое состояние. Хрупкость битума, а следовательно, и хрупкость асфальтового бетона отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах дорожных покрытий: повышается склонность к образованию трещин, к деформациям и разрушениям, связанным

с выкрашиванием покрытия. Поэтому температура хрупкости является важной характеристикой битумов. Чем ниже она, тем больше температурный интервал, в котором битум находится в вязко-пластичном состоянии, а следовательно тем лучше и его дорожно-эксплуатационные свойства. Несмотря на то что методика определения температуры хрупкости в приборке Фрааса страдает нечеткостью и получаемый результаты очень условны, это определение получило распространение и включено в стандарты на битума во многих странах.

Температура размягчения битумов и других органических вяжущих представляет собой условную характеристику перехода битума из вязкоупругого (полутвердого) в текучее состояние.

Температурой размягчения называют температуру, при которой битум, выдавливаемый из кольца определенных размеров под действием собственной массы и массы действующего на него металлического шарика, достигает нижнего диска прибора. По многочисленным данным битум при температуре размягчения характеризуется пенетрацией 800 мм^{-1} и абсолютной вязкостью, близкой $1500 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Таким образом, с известным приближением температура размягчения может рассматриваться как температура равной вязкости для всех битумов.

Для определения температуры размягчения служит прибор «Кольцо и шар» (рис. 2.3). Он состоит из металлического штатива, на котором закреплены три диска, причем расстояние между средним и нижним контрольным дисками равно $25^{+0,28}$ мм. В среднем диске имеются четыре отверстия диаметром около 19 мм для установки в них колец, залитых испытуемым битумом.

Предварительно подготовленный расплавленный битум заливают с некоторым избытком в латунные кольца, которые расположены на полированной металлической или стеклянной поверхности, покрытой смесью декстрина с глицерином в соотношении 1:3 или талька с глицерином (1:3). Если ожидаемая

температура размягчения битума выше 80°C , используют ступенчатые кольца, которые предварительно подогревают до предполагаемой температуры размягчения.

Образцы с битумом охлаждают на воздухе в течение 20 мин при температуре $(25\pm 10)^{\circ}\text{C}$ и избыток битума срезают нагретым ножом вровень с краями колец. Если предполагаемая температура размягчения битума выше 110°C , избыток битума срезают после охлаждения на воздухе в течение 5 мин, после чего выдерживают еще 15 мин.

Для битумов, гудронов и дегтей с температурой размягчения ниже 25°C кольца с вяжущим после 20 мин охлаждения на "воздухе помещают на 3 мин в баню с водой при температуре $(5\pm 1)^{\circ}\text{C}$, после чего избыток вяжущего срезают.

Кольца с вяжущим устанавливают в отверстия среднего диска. Термометр с ценой деления $0,5^{\circ}\text{C}$ устанавливают в среднее отверстие верхнего и среднего дисков так, чтобы конец ртутного резервуара был на одном уровне с нижней поверхностью битума в кольце. Если ожидаемая температура размягчения выше 80°C , прибор с кольцами помещают в химический стакан диаметром не менее 90 и высотой не менее 115 мм, наполненный водой, температура которой $(5\pm 1)^{\circ}\text{C}$. Высота слоя воды над поверхностью битума должна быть не менее 50 мм и достигать метки на одной из стоек прибора. По истечении 10 мин прибор извлекают из стакана и на каждое кольцо в центре его пинцетом укладывают по стальному шарик (диаметр $(9,5\pm 0,05)$ мм, масса $(3,5\pm 0,05)$ г), предварительно охлажденному до температуры $(5\pm 1)^{\circ}\text{C}$. После этого прибор опять опускают в стакан," избегая появления пузырьков воздуха на поверхности вяжущего.

Для битумов с температурой размягчения $80\text{...}110^{\circ}\text{C}$ стакан заполняют смесью воды с глицерином (1:2), а для битумов с температурой размягчения выше 110°C в стакан заливают глицерин. Температура предварительного 10-минутного выдерживания образцов битума в этих случаях должна быть $(34\pm 1)^{\circ}\text{C}$. До этой же температуры должен быть разогрет стальной шарик.

Стакан с прибором помещают на нагревательное устройство, стремясь

при этом обеспечить горизонтальное расположение плоскостей колец. Жидкость в стакане начинают подогреть так, чтобы скорость подъема температуры после первых 3 мин составляла $(5 \pm 0,5)$ СС в минуту. Наблюдают размягчение битума и отмечают температуру, при которой выдавливаемый шариком битум коснется контрольного нижнего диска. В качестве показателя температуры размягчения принимают среднее из результатов двух параллельных определений. При этом разница между ними не должна превышать 1°C , для битумов с температурой размягчения до 80°C , 2°C для битумов с температурой размягчения более 80°C .

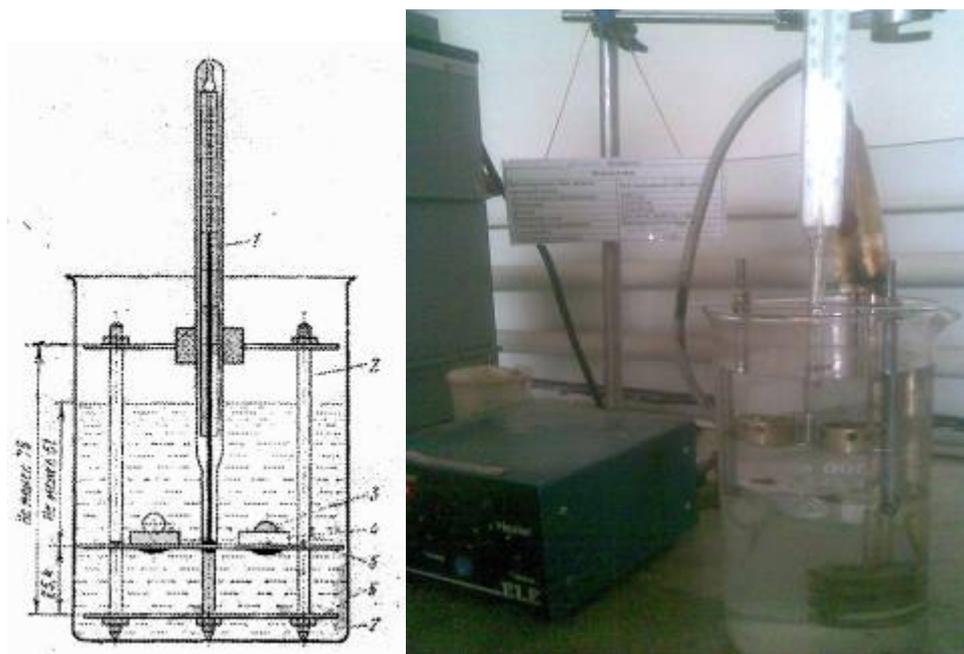


Рис.2.3 Прибор для определения температуры размягчения «Кольцо и шар»:

1-термометр, 2-стойка штатива, 3-шар, 4-кольцо, 5-средняя пластина, 6-нижняя пластина, 7-химический стакан.

Определение растяжимости битума. Растяжимость битума — это способность образца (в форме восьмерки-гантели) к увеличению длины без разрыва сплошности при постоянной скорости деформирования и заданной температуре. Показателем растяжимости является абсолютное удлинение (в сантиметрах) образца до момента разрыва. Показатель растяжимости тесно коррелирует с когезионной прочностью битума и устойчивостью его против старения во времени. Для определения растяжимости применяют дуктилометр,

который состоит из водонепроницаемого ящика (ванны), внутри которого на всю длину расположен червячный винт с салазками. На одной стороне прибора закреплена упорная пластина с тремя штифтами. Такие же штифты расположены соосно и в такой же плоскости на салазках. На салазках укреплена стрелка, передвигающаяся при движении салазок вдоль линейки за счет вращения червячного винта.

Внутреннюю сторону вкладышей латунной формы-восьмерки и полированную металлическую или стеклянную пластину покрывают смесью талька с глицерином (1:3) или смесью декстрина с глицерином (1:2).

Расплавленный и обезвоженный битум наливают в три формы тонкой струей от одного конца формы до* другого. Уровень битума должен быть несколько выше краев формы. Охлаждают битум в форме 30—40 мин при окружающей температуре, но не ниже 18 °С. После этого излишек битума гладко срезают горячим ножом от середины к краям так, чтобы битум заполнял формы вровень с их краями. Пластины с образцами помещают в водяную ванну (объем не менее 10 л) или в ванну дуктилометра. Высота воды в ванне над слоем битума должна быть не менее 25 мм. При определении растяжимости при С температура воды в ванне сдерживается $(25 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, при определении растяжимости при 0 °С— $(0 \pm 0,5)$

По истечении 1 ч пластину вынимают из воды снимают с нее формы с битумом и устанавливают их на опорные площадки дуктилометра, для чего кольца зажимов формы надевают на штифты, находящиеся на салазках 3 и упорной пластине дуктилометра. Снимают боковые вкладыши форм. Высота слоя воды над битумом должна быть 25 мм, а температура — отвечать условиям испытания: $(25 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ или $(0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. Испытания при 0°С производятся только для битумов марок БНД, аттестованных государственным Знаком качества.

Включают двигатель дуктилометра и наблюдают за растяжением битума. Скорость передвижения салазок равна 5 см/мин. Если плотность испытуемого битума значительно выше или ниже плотности воды, что приводит

соответственно к падению нити на дно или ее всплыванию, плотность воды регулируют добавлением раствора поваренной соли или этилового спирта. Образец растягивают до наступления разрыва. В момент разрыва берут отсчет по линейке в сантиметрах. Показатель растяжимости определяют как среднее арифметическое результатов трех параллельных испытаний. Допускаемое расхождение между ними не должно составлять 10% - от среднего арифметического сравниваемых результатов.

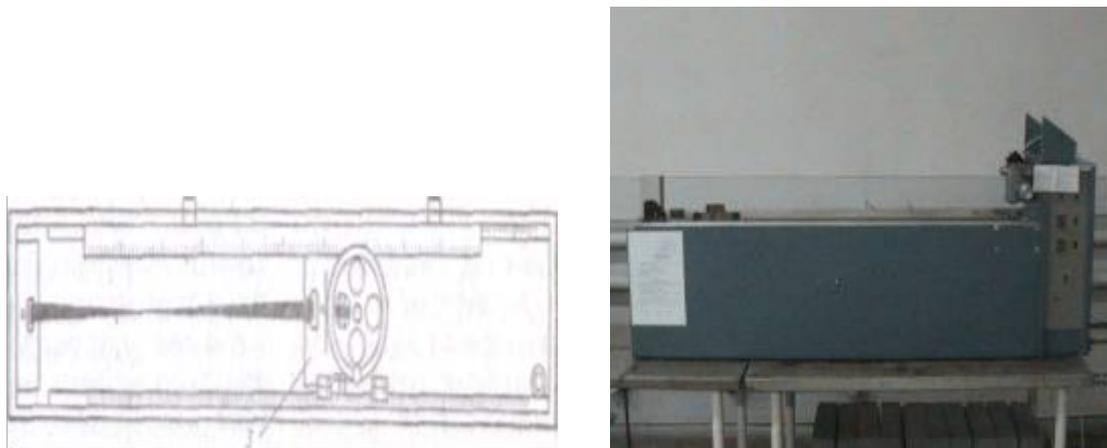


Рис.2.4. Дуктилометр и разъемные формы-восьмерки для испытания битума на растяжимость.

Определение температуры хрупкости.

Температура хрупкости зависит от вязкости битума и свойства исходного сырья. Для битумов, полученных из однородного сырья, увеличение вязкости приводит к ее повышению, и наоборот. Большое влияние на температуру хрупкости оказывает содержание в битуме парафина.

Из сказанного выше видно, что оба основных показателя вязкости (глубина проникания и температура размягчения) характеризует вязкость битума лишь при двух температурах. Выяснить глубину проникания при повышенных, а также и при отрицательных температурах нельзя. Определить вязкость вязких битумов при повышенных температурах, когда они приобретают жидкотекучее состояние, можно по аналогии с определениями глубины проникания, и поэтому получающиеся два показателя вязкости трудно между собой связать. Таким образом, ни один из этих условных показателей вязкости не может быть применен к характеристике битума в широком

температурном интервале. В этом большой недостаток способов определения вязкости.

Температура хрупкости — это температура, при которой битум переходит из вязкоупругого в хрупкое состояние, и в слое битума, нанесенном на стальную пластину и охлаждаемом: с определенной и постоянной скоростью, при циклическом изгибе пластины появляются трещины. При достижении температуры хрупкости структура битума качественно меняется— замораживается подвижность составляющих его высокомолекулярных соединений, происходит уплотнение ассоциатов асфальтеновых комплексов в результате чего существенно меняются структурно-механические свойства битума. По своему смыслу температура хрупкости с некоторой долей приближения может рассматриваться как температура перехода битума в застеклованное состояние, при которой вязкость любых аморфных материалов близка к 10^9 Па·с. Температура стеклования определяется термомеханическим или дилатометрическим способом. Абсолютное значение температуры хрупкости битума позволяет прогнозировать его поведение и поведение материалов на основе этого битума при пониженных температурах, т. е. их трещиностойкость. Такая температура является важнейшей характеристикой при решении вопроса о применении битума в различных регионах нашей страны.

Для определения температуры хрупкости используют аппарат Фрааса или другие аппараты, которые по основным размерам рабочей части, условиям и результатам испытаний соответствуют аппарату Фрааса.

Аппарат Фрааса представляет собой устройство для сгибания пластины, состоящее из двух концентрических трубок из теплоизоляционного материала и приспособления для перемещения внутренней трубки относительно внешней.

На нижних концах трубок жестко закреплены захваты с пазами. Максимальное расстояние между пазами захватов равно $(40 \pm 0,1)$ мм, а перемещение внутренней трубки во время испытания за счет клинового механизма составляет $(3,5 \pm 0,2)$ мм.

Чистую пластину длиной ($41 \pm 0,05$) мм, шириной 20 мм и толщиной 0,15 мм, изготовленную из стальной ленты 65Г-С-Н-015Х20, промывают бензином или керосином, высушивают и взвешивают. Затем на пластину наносят 0,4 г битума с точностью до 0,01 г.

Пластины нагревают на специальном приспособлении до тех пор, пока битум не растечется равномерно по ее поверхности. Пластины укладывают на горизонтальную поверхность и быстрым движением горячей спички удаляют пузырьки воздуха, избегая местных перегревов. Время расплавления и распределения битума составляет 6...8 мин. Пластины с битумом охлаждают на горизонтальной поверхности 20...40 мин при комнатной температуре, предохраняя от запыления. После этого пластину вставляют в разведенные на расстояние ($39 \pm 0,1$) мм захваты (устройства для сгибания) так, чтобы битумный слой был расположен наружу.

Собирают устройство для охлаждения и сосуд Дюара. Для этого сосуд Дюара на 12 высоты заполняют изооктаном или спиртом. Закрывают сосуд резиновой пробкой с прорезями для пробирки с изгибающим устройством, а также с отверстиями для поддачи охлаждающего агента — углекислоты или газообразного азота и отводящей трубки. На дно пробирки, в которой с помощью резиновой пробки крепится изгибающее устройство, помещают небольшое количество хлористого кальция. Устройство для изгибания пластины вставляют в пробирку. В это же устройство вставляют термометр с длиной погружаемой части 250...260 мм, диаметром не более ($5 \pm 0,5$) мм, ртутным резервуаром цилиндрической формы длиной 15...20 мм, с диапазоном измерений от плюс 35 до минус 35°C, ценой деления 1°C. Ртутный резервуар термометра должен находиться на уровне середины стальной пластины. Температура начала испытания не должна быть ниже 15°C.

Вводя охлаждающий реагент, необходимо добиться понижения температуры в пробирке со скоростью 1СС в минуту. Допускаемые при этом отклонения не должны превышать $\pm 1^\circ\text{C}$ за 10 мин. Начиная с температуры примерно на 10°C выше температуры хрупкости, о чем можно ориентировочно

судить по результатам определения глубины проникания иглы, сгибают и распрямляют пластину равномерным вращением рукоятки с частотой 1 оборот в секунду в одну сторону до достижения максимального прогиба пластинки, а затем в обратную сторону до достижения исходного положения. Полный цикл сгибания и распрямления пластины должен заканчиваться за 20...24 с. Операцию повторяют в начале каждой минуты и отмечают температуру появления первой трещины, свидетельствующую о достижении хрупкого состояния. Аналогичные испытания проводят с двумя другими пластинами, покрытыми битумом.

За температуру хрупкости принимают среднее арифметическое значение трех определений, округленное до целого числа. Допускаемые расхождения между определениями не должны превышать 3°C. Битумы БНД 40/60, аттестованные по высшей категории -качества, должны иметь температуру хрупкости не выше -12°C.

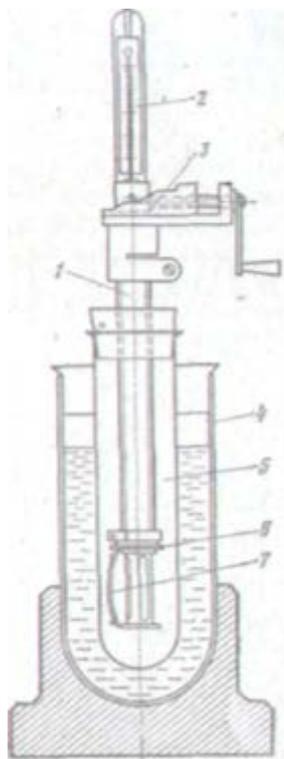


Рис. 2.5. Прибор для определения температуры хрупкости:

Пластичность. Битум, применяемый производства асфальтобетона, должен

обладать определенной пластичностью, придающей асфальтобетонному покрытию необходимые эксплуатационные свойства. Степень пластичности битумов принято оценивать по их способности растягиваться в нить определенной длины под влиянием приложенной нагрузки. Такое свойства битума получило название *растяжимости*. Определение растяжимости производится при помощи дуктилометра, в котором испытуемый образец битума растягивается с постоянной скоростью. Длина битумной нити, замеренная в момент ее обрыва, выраженная в сантиметрах, и является показателем растяжимости.

Растяжимость зависит от химического состава битума и его температуры. Как уже отмечалось выше, носителем эластичности битумов является смолы. Для однородных битумов наблюдается определенная зависимость между вязкостью и растяжимостью: чем больше вязкость, тем меньше растяжимость. Иными словами, чем меньше глубина проникания, тем чем меньше растяжимость, и наоборот.

С растяжимостью битума тесно связано одно из важнейших свойств асфальтового бетона- его деформативная способность при низких температурах, когда асфальтовый бетон испытывает значительные растягивающие усилия. Недостаточная деформативная способность приводит к быстрому хрупкому разрушению асфальтового бетона –образованию трещин в дорожных покрытиях.

С этой точки зрения, наиболее показательным является определение растяжимости при отрицательных температурах. Однако в обычно применяемых для этой цели дуктилометрах выяснение растяжимости при отрицательных температурах связано с большими трудностями. Сравнительно легко можно узнать показатель растяжимости при 0°, который является более характерным, чем определяемый обычно при положительных температурах.

Проблема повышения пластичности битумов при отрицательных температурах привлекает к себе в последнее время внимание ряда исследователей. Особое значение имеет решение этого вопроса для

строительства дорог в районах с низкими зимними температурами.

2.2.3. Выбор и определение свойства пластификатора .

Битум, как материал, представляющий смесь высокомолекулярных углеводов нефти и их гетеропроизводных, содержащих кислород, серу, азот и металлы .

Для надежной работы асфальтобетонных покрытия битум должен соответствовать определенным следующим требованиям :

1. Битум должен обладать устойчивостью к старению. А его свойства не должны изменяться свои дорожной одежды. Старение битума приводит постепенно к разрушению асфальтобетонных покрытия с течением времени.
2. В летний период пленка битума в асфальтобетоне должна быть достаточно прочной и обладать высокой деформативностью. Если это условие не будет выполнено, то в слое появятся деформации в виде волн.
3. Зимой пленка битума в асфальтобетоне должна обладать достаточной деформативность, что особенно важно при резком перепаде отрицательных температур. Противным случае в асфальтобетоном покрытия могут появиться трещены.
4. В осенние и весенние периоды пленка битума в асфальтобетоне должна обладать достаточный прочность и деформативностью. Особенно это важно в весенний период, когда несущая способность переувлажненных грунтов под дорожной одеждой снижается. Если

это условия не будет выполнена, то в дорожной одежде могут возникнуть трещины.

5. Пленка битума должна быть водостойкой и не остлаевается водой с поверхности частище каменного материала, и иначе дорожная одежда разрушится.

Для увеличения прочности пленки битума в его состав вводят добавки из полимерных материалов или побочные продукты из производства в количестве 1-3%. За счет большого размера молекул полимерные материалы увеличивают прочность пленки битума.

Необходимым условиям применение таких материалов является их растворимость в битуме в качестве добавок используют побочные продукты производства полиэтиленов, полипропилена, полистирола и поливинилхлорида.

Для улучшения деформативности битумов при повышенных температурах в их состав вводят тугоплавки битума. В ряде стран для этих страны используют природные высоковязкие битум. Если необходимо сделать более деформативным при отрицательных температурах, в его состав выводят классификаторы, напр. экстракты, получаемые в виде побочного продукта на нефтеперерабатывающих заводах при очистки масляных фракции нефти.

В ряде случаев повысят деформативность битума при отрицательных температурах для того, чтобы на дорожном покрытий не было трещин, одновременно при положительных температурах во избежание деформации в виде волн. В этом случае в состав битума вводят побочные продукты производства синтетических смол и каучуков в количестве 2-5% от массы битума. Очень важно, чтобы эти продукты хорошо совмещались с битумов – набухали и растворялись в не до получения однородной массы.

Для улучшения адгезионных свойств битумов в его состав выводят поверхно-активных вещества – ПАВ. Они обеспечивают достаточные сцепления пленки битума с поверхностью каменных материалов. Молекулы поверхно-активных вещества состоит из двух частей –углеводородного радикала и функциональной группы. Углеводородное радикалы неполярн, а

функциональная группа полярна.

Избыток ПАВ в битуме, а также их незначительные количества ухудшают адгезионные свойства битума. По этому ПАВ вводят в битум строго определенном количестве.

Проблема производства вещества, замедляющий процесс старения битума, пока находится в стадии исследования. Известно, ряд веществ может затормозить старение битума, например, введение в него высших аминов в количестве 0,2-0,5% повышает устойчивость к старению.

Моноэтаноламин - бесцветная вязкая гигроскопичная жидкость со специфическим аминным запахом, неограниченно смешивается с водой, хорошо растворим в этаноле, бензоле, хлороформе, плохо - в предельных углеводородах. Реакция моноэтаноламина с 48%-ной HBr приводит к виниламину.

Получение. Моноэтаноламин получают совместно с диэтаноламином и триэтаноламином жидкофазным аммонолизом окиси этилена в присутствии небольшого количества воды в одну стадию при температуре 90-130°C и давлении 7-10 МПа. Образующуюся смесь этаноламинов, воды и аммиака разделяют ректификацией.

Применение.

- в качестве абсорбентов "кислых" газов (H₂S, CO₂, SO₂ и т.п.) в процессах очистки технологических газов на предприятиях нефтеперерабатывающей, газодобывающей и химической отраслей промышленности. Абсорбированный газ выделяется при нагревании раствора, регенерированный моноэтаноламин направляется в рецикл;
- как сырье для получения эмульгаторов, диспергаторов, стабилизаторов пен, моющих и чистящих средств, шампуней, ПАВ и др.;
- для получения этилендиамина, N-винилпирролидона и ряда других химических продуктов;
- в фармацевтике в качестве буферного вещества и для стабилизации эмульсий;
- при производстве гербицидов, косметических средств, антигистаминных

препаратов;

Наиболее широкое применение моноэтаноламин и диэтаноламин получили в нефтяной, газовой и азотной промышленности в качестве абсорбентов для поглощения кислых газов и серосодержащих примесей.

Следующая значимая область применения МЭА и ДЭА – это производство основ для различных ПАВ и синтетических моющих средств. Соединения этих аминов с жирными кислотами или кокосовым маслом могут использоваться во многих отраслях промышленности: от косметической до нефтедобывающей.

Одной из наиболее значимых сфер применения МЭА в мировой практике является производство этиленаминов, важнейших полупродуктов, используемых во многих отраслях промышленности. Также МЭА активно применяют в фармацевтической, деревообрабатывающей, лакокрасочной промышленности.

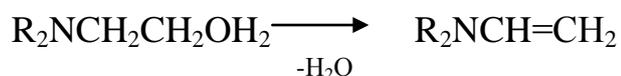
Нами были выбрано как пластификатор три вида этаноламинов (моноэтаноламин, диэтоналамин и триэтанолламин) различают (2-аминоэтанол, этаноламин, коламин), (иминоэтанол) и (нитрилотриэтанол). Бесцветный, вязкие гигроскопичные жидкости со специфичные аминным запахом, неограниченно смешивают с водой, хорошо растворяется в этаноле, бензоле, хлороформе, плохо- в гептане (табл.) Обладает свойствами аминов и спиртов [33].

СВОЙСТВА ЭТАНОЛАМИНОВ

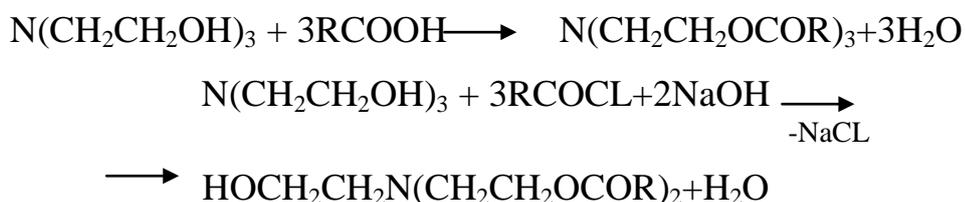
Показатель	Моноэтаноламин $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$	Диэтаноламин $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NH}$	Триэтанолламин $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$
Молекулярное	61,08	105,14	149,19

масса			
Температура пл., °С	10,6	27,8	21,2
Температура киш., °С	170-171	270	360
d_4^{20}	1,0159	1,0966	1,1242
n_D^{20}	1,4541	1,4776	1,4852
η , мПа с(25 °С)	19	580	601
Растворимость г в 100 г. гептане (25°)	0,6	0,1	0,2
Т. исп., °С	93	148,9	179
Т. самовоспл., °С	450	-	-
ПДК, мг/м ³	1	5	5

Э-слабые основания; с минер. и сильными органическими кислотами дают соли. Соли Э. с жирными кислотами-некристаллич, в-ва, похожие на воск, используются в пром-сти как эмульгаторы (этаноламинные имыла). Реакция моноэтанолминов с 48%-ной НВг приводит к виниламинам:



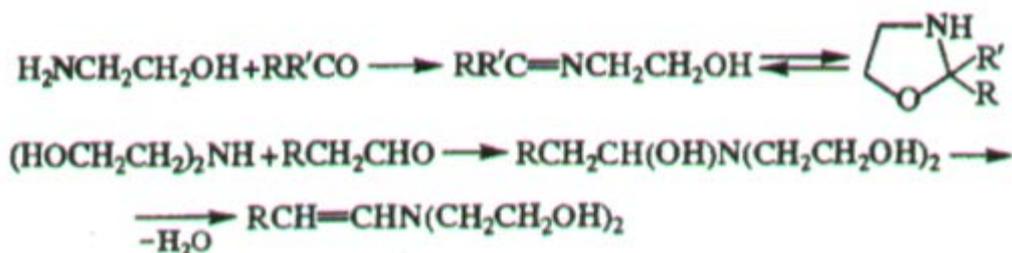
При взаимодействии со сложными эфирами и карбоновыми кислотами или их ангидрами и холрангидридами моно-и диэтанолмины превращаются соответственно в N-(2-гидроксиэтил)-и N,N-ди(2-гидроксиэтил)амиды к-т. Триэтаноламин реагирует с карбоновыми кислотами и хлорангидридами при повышенных температурах, например:



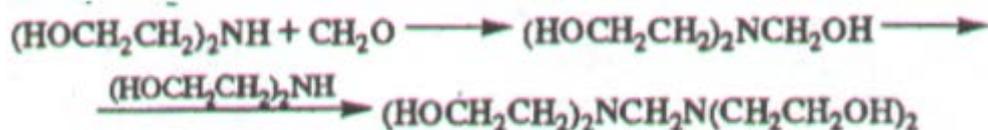
При реакции с дикарбоновыми кислотами моно- и диэтанолмины

образуют полиэфирполиамиды $[-COCH(R)CONHCH_2CH_2O-]_n$, триэтанол-амины – «сшитые» полиаминополиэфиры.

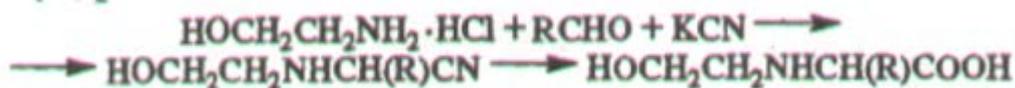
Моноэтаноламин с альгидами (за исключением формальдегида) и кетонами дает шиффоры основание, последние обычно находятся в равновесии с изомерными оксазолидинами. Диэтаноламин с высшими альдегидами в присут. K_2CO_3 образует третичными аминоспирты, которые далее превращаются в α, β – ненасыщенные аминоспирты, например:



Реакция моно- и диэтаноламинов с формальдегидом в присут, щелочи приводит к метилольным производным, последние могут вступать в реакцию со второй молекулой диэтаноламина с образованием N,N,N',N'-тетра (2-гидроэтил)метилендиамина, например:

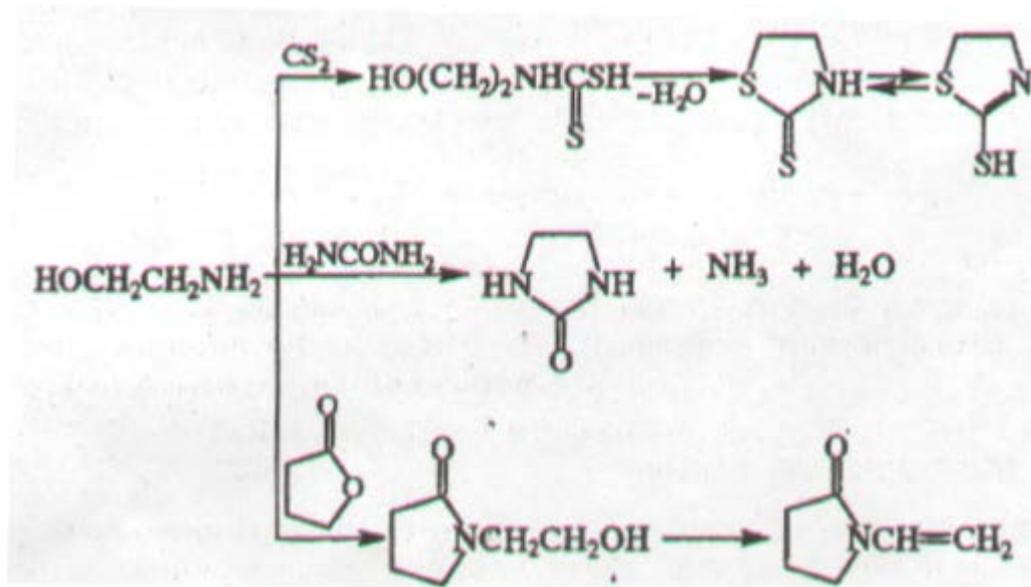


При взаимодействии солей моно- и диэтаноламинов с KCN или NaCN альдегидами и кетонами образуются N- (2 гидроксиэтил) дитиокарбаминую кислоту, которая при гидролизе превращает в N-(гидроксиэтил) аминокислоты, например:



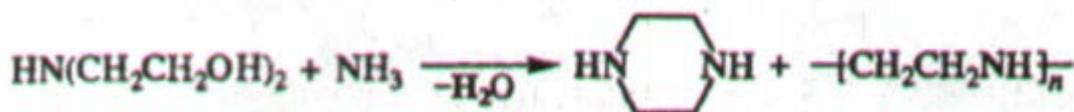
Моноэтаноламин при реакции с CS_2 образует N- (2 гидроксиэтил) дитиокарбаминую кислоту, которая при нагревании дает меркаптотиазолин; при нагревание с мочевиной – этиленмочевину; с γ -бутиролактоном – N-(2 гидроксиэтил) пирриolidон, который далее превращается в N-

винилпирриolidон:



Моно- и диэтаноламин с безводным CO_2 дают соответствующие N-гидроксиэтилкарбаминовые кислоты и их соли (например, $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NHCOON}$ и $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NHCOON} \times \text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) с акрилонитрилом N-(2-гидроксиэтил) – аминопропионитрил ($(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CN}$), с этиленкарбонатом- уретановые гликоли $\text{HOCH}_2\text{COC}(\text{O})\text{NH}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$.

Аммонилиз моноэтаноламина в присутствии, H_2 и катализаторов гидрирования приводит к этилендиамину, диэтаноламин в тех же условиях превращается в пиперазин и полиэтиленполиамин:



В пром-сти этиноламин получают ждкофазным аммонолизом этиленоксида в присутствии небольшого количество воды. Процесс осуществляют в одну стадию (при температуре $90-130^\circ \text{C}$ и давлении 7-10 МПа). При соотношении этиленоксид: аммиак (1:15) продукт реакции содержит 78,3% моно-, 16% ди- и 4,4% триэтаноламинов. Конверсия этиленоксид 100%. Состав смеси этаноламин регулирует количеством NH_3 , т-рой процесса и направлением в рецикл одного или двух этиноламин. Образующуюся смесь

этаноламин, H_2O и N_3 разделяют ректификацией, при этом аммиак в сжиженном виде направляется в рецикл; H_2O , моно-, ди- и триэтанол амины выделяют ректификацией.

В лаборатории этаноламин, синтезирует оксиэтилированием аммиака, аминированием этиленхлоргидрина, гидрированием метилениангидрина.

Анализирует этаноламин, методами ГЖК, потенциометрич, титрования, колориметрии или иодаметрии.

Этаноламин применяют в качестве абсорбентов «кислых» газов (CO_2 , H_2S , SO_2 и др.) в процессах очистки технологическим газов на предприятиях нефтеперерабатывающей, газодобывающей химические отраслей пром-сти; как сырье для получения эмульгаторов, диспергаторов, стабилизаторов пен, моющих и чистящих средств, шампуней, ПАВ и др. Моноэтаноламин использует в органические синтезе для получения этилендиамина, N-винилпирролидона и др., диэтаноламин – в производстве пластификаторов, ингибиторов коррозии и др.

2.2.4. Определение физико- механических свойств битума с добавкой пластификатора.

Для проведения лабораторного исследование нами было выбрано битум марки БНД 60/90 и определяли его физико-механические свойства по ГОСТу ГОСТ 22245-90, так же на улучшения их уделяется по получению модифицированных битумных материалов. уделено внимание на определения физико-механических свойств.

Главной целью добавления пластификатора к битуму является увеличение интервалов пластичности, повысить адгезию к минеральным материалам, обеспечить устойчивость к старению и повысить механическую прочность асфальтобетонных покрытий.

Для повышения качества битумов с различными пластификаторами, которые способны улучшить его свойства, позволять расширить их область применения.

Регулировать свойства битумов возможно, путем добавления различных

пластификаторов. В результате подбора наилучшего соотношения битум- с пластификаторами можно достичь улучшения одного или нескольких его свойств.

Пластификатор дополняют дисперсионную среду всей системы битума, тем самым снижают температуру размягчения и хрупкости, увеличивают пенетрацию. Основные критерии подбора добавки - это хорошая совместимость ее с битумом, высокая температура кипения или приемлемая температура плавления, доступность, дешевизна, нетоксичность, технологичность, возможность улучшать физико-химические и эксплуатационные свойства битума [45-47].

В этом направлении по нашему мнению значительный интерес к использованию в качестве пластификатора. Полученные результаты проведенных исследований при добавке СТГС в нефтяном битум марки БНД 60/90 сведены в таблицу 3.3.1

Таблица 3.3.1

Показатели	БНД 60/90	Моноэтаноламин		
		0,02 %	0,05%	0,08%
Глубина проникания иглы при: 25°C	61...90	72	78	70
0°C, не менее	20	22	24	29
Температура размягчения по кольцу и шару, °C, не ниже	47	50	54	52
Растяжимость, см, не менее: при 25°C	50	60	97	68
0°C	3,5	3	3,5	3
Температура хрупкости, °C, не выше	15	16	20	17

Нами были проведены следующие работы:

Выбрано битум марки БНД 60/90 для проведения исследования по повышению его свойств.

В лабораторных условия взято 100гр битум марки БНД 60/90 и к нему были добавлено аминоспирт-моноэтаноламин. В следующий количестве.

К 100 гр битуму добавлено 0,02%, 0,05%, 0,08 % моноэтаноламина.

(таблица 3.3.1), при этом температура битума 180°C. С помощью лабораторного диспергатора перемещена. (Рис 3.1)



Рис. 2.1 Диспергатор



Рис..2.2 Определение вязкость нового битума с прибором пенетрометра.

Затем определяли физико-механические свойства новой полученной смеси, из таблицы 3.3.1 видно, что самая оптимальная это новое полученное вяжущее с добавкой моноэтаноламина 0,05 %.

И после всего проводили дальнейшего исследования по определению физико-механических свойств.

Определения вязкость нового вяжущего выполняется по требованиям

ГОСТ 11501 с прибором пенетрометра.

Определение глубины проникания иглы в новом органическом вяжущем (НОВ) производили следующим образом. Расплавленный НОВ, процеживаем через металлического сито и наливаем в металлическую чашку так, чтобы поверхность битума была не более чем на 5 мм ниже верхнего края чашки. Чашку с битумов охлаждаем на воздухе при температуре 25 °С. Потом чашку с образцом помещаем в кристаллизатор, наполненный водой так, чтобы высота над поверхностью битума была не менее 10 мм, температура воды 25 °С.

Кристаллизатор устанавливаем на столик пенетрометра, который должен быть предварительно приведен в горизонтальное положение винтами. Подводим острые иглы к поверхности НОВ так, чтобы игла только слегка касалась ее. После соприкосновения острые иглы с поверхности НОВ кремальеру доводят до плунжера, а на круге берут отсчет. Затем одновременно включаем секундомер и нажимаем стопорную кнопку давая игле свободно погружаться, в НОВ, в течение 5 сек. Определение повторяют не менее 3 раз в различных точках на поверхностях НОВ. После каждого погружения иглу вынимают из гнезда, отмывают кончик ее от приставшего битума бензином или другим растворителем и насухо вытирают по направлению к острый.

Определение растяжимости на стеклянную пластинку, смазанную смесью талька с глицерином, устанавливаем три формы, внутреннего поверхности которые смазаны. Тонкой струей от одного конца формы до другого наливаем НОВ. Потом охлаждаем при температуре не ниже 18°С в течение 30-40 мин, затем гладко срезаем излишек битума горячим острым ножом от середины к краям так, чтобы НОВ заполнял формы вровень с краями. Затем формы с НОВ помещают в дуктилометр с водой, надевая кольца зажимов формы на штифты, находящиеся на салазках и на неподвижной пластине при температуре 25°С на 1 час. Высота слоя воды над

НОВ должна быть не менее 25 мм. Через 1 час убираем боковины, включаем электродвигатель и наблюдаем за растяжением НОВ. Если при растяжении нить НОВ достигает дна или всплывает на поверхность воды, плотность воды изменяем добавлением раствора поваренной соли и глицерина и этилового спирта для уменьшения плотности НОВ нить растягивается до тех пор, пока она не оборвется. За растяжимость принимаем длину нити НОВ в сантиметрах, отмеченную указателем в момент её разрыва.



Рис 3.3.3. Определение растяжимости нового битума с прибором дуктилометра

Определение температуры размягчения ГОСТ – 11506 на стеклянную пластинку, смазанную глицерином, кладем кольцо и заливаем их расплавленным битумом. Затем кольцо битумом охлаждаем на воздухе в течение 20 мин при температуре 25 °С, избыток битума гладко срезаем нагретым ножом вровень с краями колец.

Кольца с битумом помещаем в отверстия среднего диска, и прибор помещаем в химический стакан. Наполняем водой при 5 °С. По истечении 10 мин подвеску вынимаем, в центр каждого кольца на поверхность битума, кладем пинцетом стальной шарик, охлажденный в водяной бане до 5 °С, отпускаем подвеску обратно в стакан, избегая появления пузырьков воздуха на поверхности НОВ. Стакан устанавливаем на нагревательный прибор так,

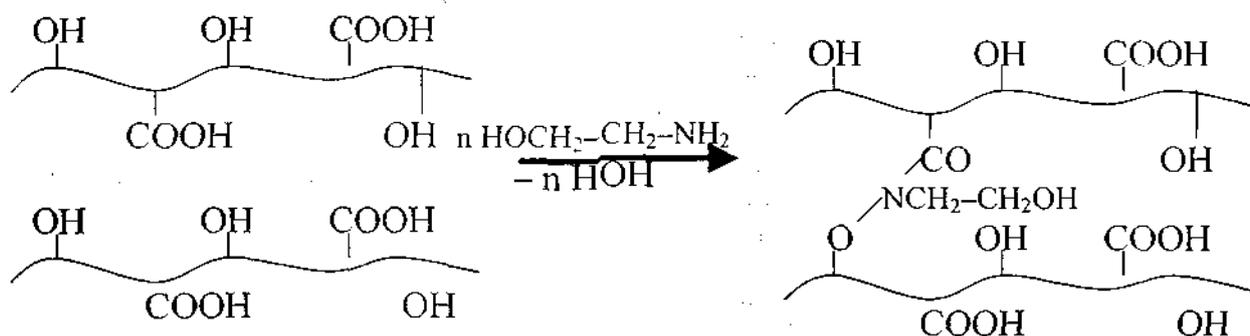
чтобы плоскость колец была строго горизонтальной. Температура воды должна подниматься со скоростью 5 °С в минуту.

Нагревание продолжаем до тех пор, пока шарик не продавит размягчающийся битум, и не упадет на поверхность нижнего диска. В момент соприкосновения шарик с нижним диском отсчитываем температуру, которую и принимаем за температуру размягчения нового битума.



Рис 3.3.3. Определение температуры размягчения по прибором кольцо и шар

Условно образование химических связей между дисперсными частицами битума в присутствии биофункциональных низкомолекулярных соединений (при использовании моноэтаноламина) и получение сетчатой дисперсной системы может быть представлено следующей схемой:



По механизму межмолекулярные реакции в дисперсных системах приводят к образованию сетчатых структур [48-49]. Между молекулами полимера возникают химические связи и происходит сшивание макромолекул. Возникновение даже одной поперечной химической связи между линейными макромолекулами достаточно для того, чтобы они утратили кинетическую самостоятельность. Следует отметить, что одной из особенностей межмолекулярных реакции является то, для образования сетчатой дисперсной системы из высокомолекулярных требуется ничтожно малое количество сшивающего реагента по сравнению с молекулярной массой полимера. В нашем случае эффект наблюдается по изменению эластических характеристик - растяжимости битума при добавке 0,02- 0,08 % моноэтаноламина.

Устройство оснований по способу холодного ресайклинга

Холодный ресайклинг представляет собой укрепление (стабилизацию) грунтов, каменных материалов и асфальтовой крошки различными вяжущими, в том числе битумной эмульсией путем предварительного фрезерования и смешения на дороге.

Технология холодного ресайклинга весьма эффективна при ремонте и реконструкции существующих дорог, когда старая дорожная одежда сфрезеровывается частично или на всю глубину с помощью ресайклера и материал используется для укрепления вяжущим, в частности, битумной эмульсией в качестве основания.

По оценкам специалистов, холодный ресайклинг на 20% дешевле традиционной технологии ремонта и на 40–50% сокращает затраты времени.

Для получения достаточно плотного и прочного укрепленного основания кривая гранулометрического состава смеси отфрезерованного материала должна быть плавной и находиться в пределах, указанных в табл. 2.

Таблица 2

Массовая доля, % зерен мин. Отфрезерованная

материала мельче, мм	смесь
40	70–100
20	50–100
10	35–75
5	22–56
2,5	15–40
1,25	10–30
0,63	9–21
0,315	8–18
0,14	7–10
0,071	5–8

Для стабилизации по способу холодного ресайклинга используются средне- или медленнораспадающиеся эмульсии с содержанием битума порядка 60–65%.

Выбор исходного битума, концентрацию эмульсии и ее содержание в смеси осуществляют в каждом конкретном случае на основании предварительных лабораторных испытаний и требований к конечному материалу.

Ориентировочный расход 60-процентной эмульсии находится в пределах 3,5–5,5%.

3.2 Способы разборки слоев дорожных одежд и повторного использования их материалов

Полная разборка существующей дорожной одежды должна обеспечить возможно меньшее перемешивание материалов слоев; чтобы создать возможность более эффективного дальнейшего использования этих материалов.

Технология полной разборки слоев существующей одежды включает следующие операции.

Послойное рыхление слоев существующего покрытия и основания, кроме песчаного, осуществляется бульдозером с навесным рыхлителем за несколько параллельных проходов вдоль проезжей части. Для слоев из гравийных и гравийно-песчаных смесей возможно применение автогрейдера с кирковщиком. Проходы рыхлительных машин должны осуществляться с перекрытием на 0.2-0.25 ширины. Для измельчения цементобетонных покрытий и оснований и других достаточно прочных слоев из материалов, обработанных цементом в установке, эффективно применение автобетоноломов различных конструкций, разрушающих прочные слои пневмоударным или электроударным способами.

Разрушенный материал данного слоя сдвигают в кучи, расположенные на расстоянии 15-20 м одна от другой. Сдвижку материала осуществляют бульдозером.

Из куч материал разрушенного слоя грузят в автомобили-самосвалы, отвозящие этот материал на промежуточные склады. Для погрузки могут быть использованы одноковшовые фронтальные погрузчики либо экскаваторы с ковшом прямой или обратной лопата. Мелкий материал можно грузить многоковшовыми погрузчиками.

В ряде случаев возможна разборка верхнего слоя из асфальтобетона или цементобетона лишь на часть его толщины. Такая необходимость может возникать при выравнивании существующего покрытия, на котором в процессе эксплуатации образовались колеи, наплывы и другие неровности; при удалении верхнего ослабленного слоя покрытия; при необходимости уменьшить толщину существующего покрытия перед укладкой нового слоя для выравнивания или усиления существующей дорожной одежды без изменения вертикальных отметок ее поверхности. Последнее решение наиболее часто применяется в городских условиях, для того чтобы сохранить высоту расположения бортового камня над поверхностью покрытия.

В целях частичной разборки верхнего слоя широко применяют машины для холодного фрезерования покрытия (рис.16). Основным рабочим органом такой машины является фреза - барабан, снабженная высокопрочными режущими зубьями. В процессе вращения фрезы - барабана - срезается слой покрытия на заданную толщину, срезанный фрезой материал с помощью транспортера грузят в транспортное средство или отсыпают в отвал.

Для охлаждения рабочего органа машины его в процессе работы опрыскивают водой. Поверхность, остающаяся после фрезерования, является основанием для нового слоя покрытия. Эта поверхность должна быть параллельна поверхности укладываемого на нее слоя. Машина для холодного фрезерования должна обеспечивать:

- необходимую глубину фрезерования;
- требуемый поперечный уклон;
- заданный продольный уклон;
- чистоту кромки фрезерования.

Существует значительное количество типоразмеров машин для холодного фрезерования покрытий шириной от 1.3 до 4.2 м при максимальной глубине фрезерования от 150 до 300 мм.

Выбор типоразмера холодной фрезы зависит от объема работ и необходимой глубины фрезерования с учетом технико-экономических соображений.

При оценке возможности и целесообразности использования материалов, полученных при разборке существующих дорожных одежд, выполняют следующее:

визуальную оценку состояния материалов и предварительное определение вида сооружения, в котором они могут быть использованы (слои вновь строящейся дорожной одежды, укрепление обочин, строительство временного объезда и др.);

- определение вида работ, необходимых для приведения материалов в состояние, пригодное для их использования в том или ином

сооружении (дробление крупных кусков или фракций материалов, поливка, введение добавок);

- разработку технологии строительства из данных материалов намеченных сооружений, включая способы обработки вяжущим, регенерацию старого асфальтобетона или продуктов фрезерования асфальтобетонного покрытия на заводе;

- технико-экономическую оценку применения продуктов разборки старой дорожной одежды в тех или иных сооружениях в сравнении с использованием новых материалов.

После установления вида сооружения, где может быть использован данный материал, производят в необходимых случаях испытание этого материала в лабораторных условиях для определения соответствия требованиям стандартов, СНиП и других нормативных документов (определение зернового состава щебеночных и гравийных смесей, износа в полочном барабане, морозостойкости каменного материала, его марки по прочности, коэффициента фильтрации песчано-гравийных смесей или песка до промывки и после промывки).

В случае обработки продуктов разборки старой одежды вяжущим подбор состава смесей производят по действующим нормативным документам

3.3. Способы регенерации дорожных одежд и покрытий

При реконструкции автомобильных дорог широкое распространение находят методы регенерации и повторного использования материалов дорожных одежд.

Регенерация в переводе с латинского языка - восстановление, возрождение. Применительно к дорожным одеждам и покрытиям регенерация означает восстановление их прочностных свойств, ровности, сплошности и т.д. Применительно к асфальтобетону регенерация - это обработка или

переработка старого асфальтобетона с целью полезного изменения некоторых его свойств.

Следует различать близкие между собой термины регенерация и повторное использование материалов старого покрытия, которое в зарубежной литературе называется рисайклинг или рециклинг. Повторное использование материалов старого покрытия может осуществляться без регенерации (восстановления или улучшения) свойств этого материала (например гранулят старого асфальтобетона может быть использован для укрепления обочин).

Регенерация же предполагает обязательное восстановление свойств материала и его повторное использование.

Существует большое количество методов регенерации и повторного использования материалов, которые могут быть применены при реконструкции автомобильных дорог [1,8]. Все эти методы можно объединить в несколько групп:

- методы горячей регенерации на месте (на дороге) с использованием различных способов разогрева, разрыхления и улучшения свойств старого асфальтобетона с последующей укладкой его в покрытие;

- методы холодной регенерации на месте (на дороге), когда материал старого покрытия (асфальтобетонного или цементобетонного) снимают холодным фрезерованием, обрабатывают битумной эмульсией или цементом и укладывают в нижний слой нового покрытия;

- методы холод но-горячей регенерации (комбинированные методы), когда материал старого покрытия снимают холодной фрезой, а затем перерабатывают его с подогревом, добавлением нового щебня и битума в смесительной установке и укладывают в покрытие.

При этом переработка может осуществляться на месте (на дороге) в передвижной смесительной установке или на стационарном асфальтобетонном заводе.

Из большой группы методов горячей регенерации на месте при

реконструкции дорог наиболее широко применяют метод термосмешения, выравнивания и восстановления формы покрытия с добавлением новой смеси и ее перемешиванием со старой смесью. За рубежом этот метод называется Remix, а машины для его реализации -ремиксер. В России для реализации этой технологии применяются термосмеситель ДЭ - 232 и асфальторазогреватель ДЭ - 234. Термосмеситель ДЭ - 232 позволяет за один проход обрабатывать полосу шириной 4 м с глубиной рыхления асфальтобетона до 4,0 см. Рабочая скорость 3 м/мин, а транспортная до 7 км/ч, масса машины 40т. ...

За рубежом выпускается большое количество различных модификаций ремиксерое. В России наибольшее распространение имеют ремиксеры фирмы «Виртген» ФРГ.

. Метод термосмешения применяют в том случае, когда на существующем покрытии имеют место дефекты в виде трещин, полей, сетки трещин, а также, когда необходимо усилить старое покрытие. Для этого к снятому и разрыхленному материалу старого покрытия добавляют новый материал в количестве 25-50 кг/м при ремонте без усиления и до150кг/м при ремонте с усилением.

Старый и новый материалы перемешивают в мешалке, получают однородную смесь, которую укладывают в виде одного слоя покрытия. Глубина фрезерования старого покрытия может достигать 50-60 мм.

Технологический процесс метода термосмешения включает в себя следующие основные операции (рис. 17):

- подготовительные работы, к которым относят операции по ограждению места производства работ, подготовке машины и оборудования, разметку участка, загрузку новой смеси в приемный бункер и.

- предварительный и окончательный разогрев существующего покрытия;

- рыхление или фрезерование старого покрытия и подача снятого материала в смеситель;

- подача в смеситель нового материала и перемешивание его со

старым;

- распределение и предварительное уплотнение асфальтобетонной смеси;

- окончательное уплотнение слоя покрытия.

Оборудование для выполнения этих операций состоит из трех панелей горелок инфракрасного излучения для предварительного разогрева, смонтированных на отдельном шасси (разогреватель типа ДЭ -234), и собственно термосмесителя типа ДЭ - 232, в состав которого входят несколько блоков (панелей) нагревательных газовых горелок, емкости для сжатого газа, приемный бункер для новой смеси, рыхлитель - фреза, шнековый питатель для подачи нового материала в смеситель, мешалка (смеситель) принудительного действия, шнековый разравниватель и планирующий отвал, вибробрус для предварительного уплотнения и др. (рис. 18).

Одной из важнейших операций является разогрев верхнего слоя асфальтобетона на глубину рыхления, которую принимают не менее минимально допустимой толщины регенерированного слоя. Эту толщину принимают, исходя из крупности зерен асфальтобетона:

- 20 мм для песчаных смесей;
- 25 мм для щебеночных смесей с зернами размером до 15 мм;
- 35 мм для щебеночных смесей с зернами размером до 20 мм.

Обычно глубину разогрева принимают от 30 до 60 мм в зависимости от толщины верхнего слоя асфальтобетона и максимальной глубины рыхления, которую может обеспечить термосмеситель.

Задача состоит в том, чтобы плавно разогреть обрабатываемый слой асфальтобетона до температуры его переработки, которая

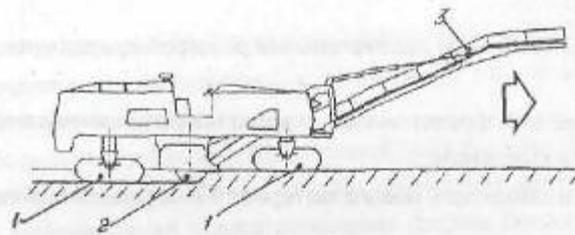


Рис.16. Самоходная машина для холодного фрезерования асфальто-бетонного покрытия (холодная фреза):

1 - ходовое оборудование; 2 - фреза - барабан; 3 - транспортер для загрузки продукта фрезерования в транспортное средство или отсыпки в отвал



Рис.17. Основные технологические операции регенерации асфальто-бетонного покрытия по методу термосмещения:

1 - предварительный разогрев покрытия горелками инфракрасного излучения; 2 - доставка новой асфальтобетонной смеси; 3 - рыхление, фрезерование, перемешивание старого материала с новым, распределение и предварительное уплотнение; 4 - окончательное уплотнение

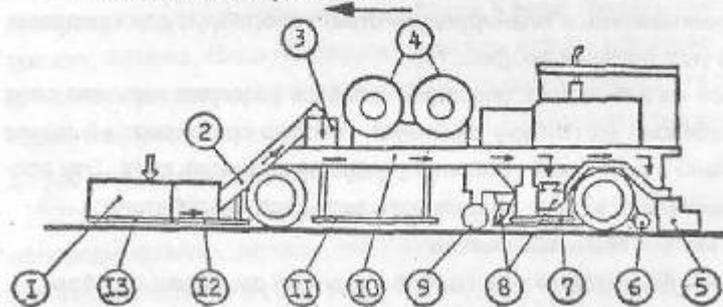


Рис.18. Схема термосмесителя ДЭ-232:

1 - приемный бункер для новой асфальтобетонной смеси; 2 - транспортер; 3 - промежуточный бункер для новой смеси; 4 - емкости для газа; 5 - трамбуемый брус и вибрационная выглаживающая плита; 6 - шнек; 7, 11, 12, 13 - панели горелок инфракрасного излучения; 8 - отвал со смесителем; 9 - шнек - фреза; 10 - обогреваемый транспортер

колеблется в пределах от 100 до 150° С, редко до 180 - 200° С. Как правило, разогрев производится в две ступени. Сначала асфальто-разогревателем до температуры 90 - 100° С, затем термосмесителем до температуры 140 - 150° С или выше. Сразу после полного включения панелей горелок, которые расположены над поверхностью покрытия на высоте не менее 5 см, идет быстрое нагревание верхнего слоя (рис.19).

Затем нагрев верхнего слоя уменьшается или прекращается при движении разогревателя, а тепло из верхнего слоя распространяется вниз.

Режим разогрева слоя регулируют изменением давления в газовой

системе, положения панелей над поверхностью покрытия или скорости движения.

После разогрева верхний слой покрытия фрезеруется и полученный гранулят (иногда называют его «фрезаж») подается в смеситель, куда вводится новая горячая смесь, которая перемешивается с гранулятом, укладывается и уплотняется.

Важно отметить, что укладка смеси ведется на горячее основание, что улучшает процесс слияния верхнего и нижнего слоев в единый монолит.

В результате -за один проход получается новое, более прочное покрытие, устраняются колеи, трещины и неровности {рис.20). Тем не менее обычно на слой регенерированного асфальтобетона укладывают защитный слой или дополнительный тонкий слой нового асфальтобетона. По такой технологии перестроено покрытие дороги Москва-Рига на участке МКАД-Волоколамск.

Разновидностью метода термосмещения является метод термопластификации. Он состоит в том, что в процессе фрезерования или перемешивания кроме новой смеси добавляют еще и пластификатор, который улучшает свойства битума в старой асфальтобетонной смеси.

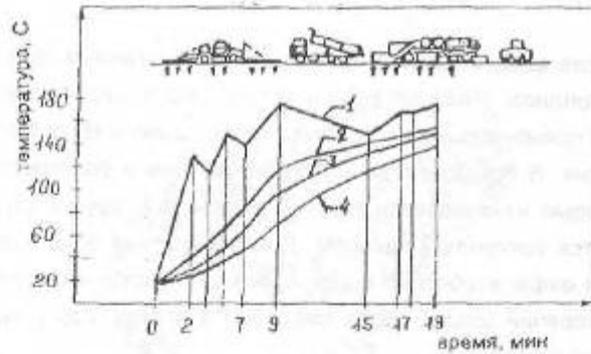


Рис.19. Изменение температуры во время нагрева покрытия:
1 - на поверхности покрытия, 2,3,4, - соответственно на глубине 2,4,6 см

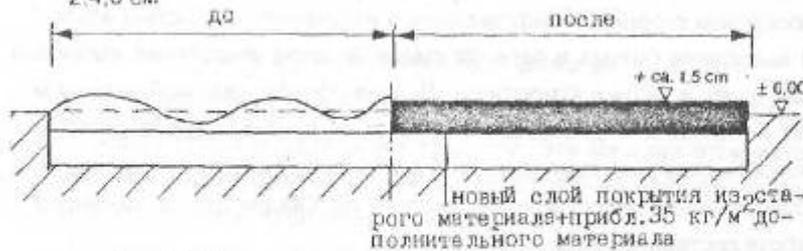


Рис.20. Вид покрытия до и после регенерации

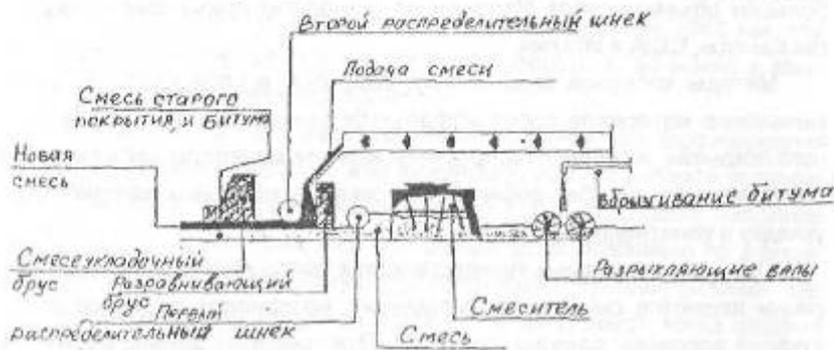


Рис.21. Устройства для укладки дополнительного слоя покрытия при терморегенерации по методу «Ремикс плюс»

Дальнейшим развитием метода регенерации с добавлением новой смеси и ее перемешиванием является так называемый метод ремикс-плюс, который состоит в том, что на слой регенерированного асфальтобетона сразу той же машиной укладывается дополнительный слой усиления, или защитный слой из новой смеси. Для этого термосмеситель оборудуется дополнительным распределительным шнеком, расположенным за первым шнеком (рис, 21). Окончательное уплотнение первого и второго слоев производится одновременно, сначала легким вибрационным катком с выключенным вибратором или гладковальцевым катком массой 6-8 т, затем продолжают вибрационным катком с включенным вибратором и

пневмоколесным катком массой 16-20 т. Завершают уплотнение тяжелым гладковальцевым катком.

Работы по термосмещению можно производить при температуре воздуха не ниже 20° С, а с применением дополнительного разогревателя - при температуре воздуха не ниже 5° С. Скорость ветра не должна быть более 7 м/с. При большей скорости ветра резко возрастают потери тепловой энергии, которая рассеивается в атмосфере. Кроме того, при сильном ветре происходит задувание горелок.

Новую технологию горячей регенерации асфальтобетонного покрытия на месте разработала фирма «Мартек» (Канада), которая выпускает для ее реализации специальный комплект машин AR200.0. Комплект состоит из двух предварительных разогревателей, нагревателя-фрезеровщика, горячего смесителя, укладчика и катков.

Существенное отличие этой технологии состоит в том, что разогрев асфальтобетонного покрытия производится не горелками инфракрасного излучения, а нагретым до 600° С воздухом, который обтекает поверхность покрытия, нагнетается в поры асфальтобетона под давлением, создаваемым компрессором и вакуумированием (откачиванием) воздуха.

Подогрев воздуха может производиться сжиганием газа или дизельного топлива. Разогревающее устройство в виде герметически замкнутого прямоугольника (коробки) плотно прижимается к поверхности покрытия. В пространство между покрытием и разогревателем с одной стороны накачивается горячий воздух, а с другой стороны он отсасывается вакуумным насосом. Для повышения эффекта прогревания слоя асфальтобетона в нем просверливаются отверстия. Откаченный горячий воздух снова поступает в компрессор и так многократно циркулирует.

Это способствует многократному снижению потерь тепловой энергии при разогреве асфальтобетонного покрытия по сравнению с разогревом горелками инфракрасного излучения, полностью исключает выгорание битума и пережог смеси, а также выделение выбросов газа, дыма

и пыли в атмосферу. Ширина обрабатываемой полосы может изменяться в диапазоне 3.3-4.0 м, глубина разогрева до 50 мм, скорость движения комплекта от 5 до 7 м/мин. За одну смену комплект обрабатывает полосу длиной около 3 км. Общая длина комплекта в работе составляет 75 м.

Эффективность работы этого комплекта особенно высока при больших объемах работ. Изложенная технология применена на дорогах Канады, США и Италии.

Методы холодной регенерации включают в себя снятие и размельчение материала слоев асфальтобетонного или цементобетонного покрытия, их обработку органическим или минеральным вяжущим с добавлением или без добавления новых минеральных материалов, укладку и уплотнение.

Одними из основных технологических операций холодной регенерации являются снятие и размельчение материалов слоев существующей дорожной одежды (см. п.2.6). Эти операции обычно производят с помощью холодных фрез, т.е. фрез, которые разрушают дорожное покрытие без подогрева. .

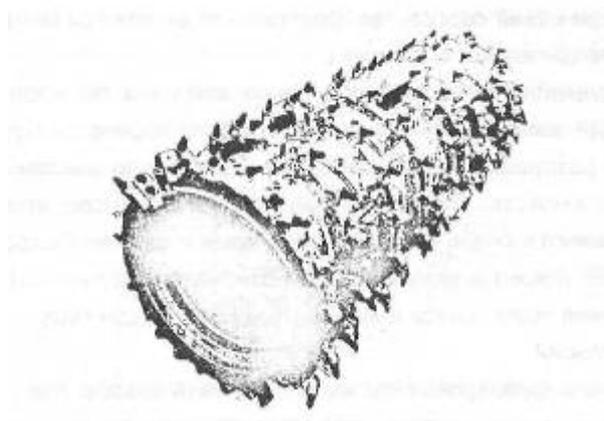


Рис.22. Фрезерный вал с резцами

В настоящее время выпускается большое количество типов машин для фрезерования дорожных покрытий. Эти машины отличаются шириной и глубиной фрезерования, а также рабочей скоростью, которые и определяют их производительность.

В России АОО «Брянский арсенал» совместно с итальянской фирмой «Бителли» освоило выпуск фрезы для холодного фрезерования SF100T4. Она

обеспечивает ширину фрезерования 1000 мм, глубину фрезерования до 250 мм, рабочую скорость 0...30 м/мин в зависимости от глубины фрезерования.

Основным рабочим органом любой машины для фрезерования является режущий барабан, или фрезерный вал, на котором установлены сменные резцы с наконечниками из прочного сплава, например карбида вольфрама (рис. 22). Эти резцы, расположенные по двухзаходной винтовой линии, обычно осуществляют встречное резание, т.е. врезаются в материал дорожного покрытия снизу вверх, когда машина движется вперед.

Производительность машины во многом зависит от прочности покрытия и заполнителя в смеси. Чем прочнее заполнитель и мельче его гранулометрический состав, тем быстрее изнашиваются резцы и тем ниже производительность машины.

Для большинства асфальтобетонных покрытий, за исключением случая, когда заполнитель имеет очень низкую прочность, зубья планировщика разрушают старое дорожное покрытие по линиям асфальтовяжущего вещества. При этом гранулометрический состав исходной смеси изменяется очень мало и снятые куски и щебенки асфальтобетона обычно покрыты вяжущим, что позволяет использовать их для приготовления новой смеси с минимальным расходом битума или битумной эмульсии.

Холодным фрезерованием можно снимать старое покрытие послойно и тем самым отделять материал верхнего слоя из мелкозернистого асфальтобетона от материала нижнего слоя из крупнозернистого асфальтобетона с последующей укладкой в соответствующие слои дорожной одежды.

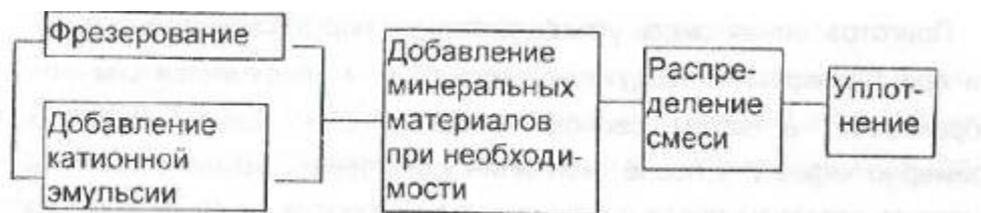
Холодное фрезерование дорожного покрытия при реконструкции дорог применяют для снятия старого покрытия с трещинами, чтобы предупредить их выход на новое покрытие при усилении дорожной одежды; для восстановления поперечного профиля дорожной одежды и устранения колеи, выбоин и других деформаций; увеличения вертикального габарита путепровода над дорогой; уменьшения собственного веса дорожной одежды на мостах и путепроводах; сохранения высоты бордюров и отметок водосборных, водоотводящих и дренажных систем в населенных

пунктах, на городских улицах и в других случаях.

Глубина фрезерования зависит главным образом от состояния покрытия. Чаще всего одним проходом фрезерной машины снимают верхний слой, а на нижний слой укладывают новое покрытие из одного или нескольких слоев.

Полученный при холодном фрезеровании гранулят может быть повторно использован без переработки или с переработкой на месте в передвижной установке или на стационарном заводе.

Одним из способов применения снятого материала на месте может служить его использование в режиме холодной переработки. В этом способе снятый материал смешивают с жидким битумом, битумной эмульсией или вспененным битумом фрезой или в передвижной установке по схеме:



На слой покрытия из этого материала необходимо уложить защитный слой, или тонкий слой износа.

В НЛО РосдорНИИ разработан метод повторного использования гранулята путем изготовления асфальтогранулобетонной смеси (АГБ-смеси), укладки и уплотнения, в результате формируется асфальтогранулобетон (АГБ).

АГБ-смесь приготавливают в смесительной установке с принудительным перемешиванием в холодном состоянии асфальтобетонного гранулята с добавками: щебня фракций 5-25 мм (если необходимо), цемента, катионной битумной дорожной эмульсии и воды смачивания, если влажность гранулята ниже 1%.

Добавки в гранулят вводят в таком порядке: щебень, вода смачивания, эмульсия, цемент.

При приготовлении АГБ-смеси может быть использован гранулят, полученный как при послойном, так и однопроходном фрезеровании существующего покрытия на глубину 14-30 см. Однако кривая гранулометрического состава гранулята должна

иметь плавное очертание и вписываться в границы составов для пористых и высокопористых смесей, зерен щебня фракций крупнее 5 мм должно быть не менее 35-40%. В противном случае к грануляту добавляют щебень.

Ориентировочная доля отдельных компонентов по массе гранулята составляет:

битумной эмульсии	-2-4%;
портландцемента	-2-5%;
вода	- 4-6% .

Приготовленная смесь укладывается на подготовленном основании при температуре воздуха не ниже 0° С и уплотняется сначала виброплитой, а затем звеном катков. После испарения влаги (примерно через 2 ч после окончания уплотнения) можно открывать движение автотранспорта с ограничением скорости до 40 км/ч. Через 4-5 часов можно укладывать следующий слой асфальтобетона, который выполняет роль защитного слоя и слоя износа.

Вся технология может быть реализована в двух вариантах:

- а) ведущая машина - фрезеровальная машина. В этом случае перемешивание и укладка смеси производятся в передвижном смесителе,
- б) ведущая машина - фрезеровально-смешивательная машина, которая выполняет все операции по фрезерованию, перемешиванию, укладке и предварительному уплотнению смеси.

Методы холодно-горячей регенерации (комбинированные методы) можно разделить на две группы:

- а) с переработкой старого асфальтобетона на месте (на дороге) в передвижных смесительных установках;
- б) с переработкой старого асфальтобетона на стационарных асфальтобетонных заводах.

Технология холодно-горячей регенерации с переработкой старого асфальтобетона на месте в передвижной смесительной установке была реализована в России при реконструкции дороги Москва-Минск с

использованием специального комплекта машин, поставленных итальянской фирмой «Павиметалл». Основной машиной этого комплекта является передвижная асфальтосмесительная установка с сушильным барабаном фирмы «Мариини».

В состав комплекта входят: щебнераспределитель, холодная фрезеровальная машина, передвижная асфальтосмесительная установка, асфальтоукладчик, комплект катков

Технология работ включает следующие операции:

- на очищенное от пыли и грязи покрытие распределяется равномерный слой щебня на всю полосу регенерации. Новый щебень обычно добавляют в количестве 50-70% от объема сфрезерованного гранулята;

- холодной фрезой на глубину 30-50 мм снимается верхний слой покрытия, измельчается, одновременно перемешивается с новым щебнем и выкладывается в виде вала на полосе фрезерования;

- погрузчиком-питателем смесь гранулята со щебнем подается в движущийся сушильный барабан асфальтосмесительной установки, где смесь высушивается и подогревается до рабочей температуры;

- горячая смесь поступает в смесительное отделение асфальтосмесителя, куда вводится битум в количестве 5-7% от массы нового щебня, и перемешивается;

- из смесителя готовая смесь выгружается в приемный бункер асфальтоукладчика, распределяется и предварительно уплотняется;

- окончательное уплотнение производится комплектом катков. В результате общая толщина асфальтобетонного покрытия увеличивается на 2-4 см. На этот слой укладывается защитный слой в виде поверхностной обработки или слой износа из новой асфальтобетонной смеси. В городских условиях переработку снятого холодной фрезой гранулята, как правило, производят на стационарных асфальтобетонных заводах, где имеются лучшие условия для обеспечения высокого качества регенерированного асфальтобетона.

**** Она осуществляется при помощи фрезерования разогретого покрытия и позволяет исправить выбоину, колею. Такой метод используют также при нанесении насечек на поверхность покрытия дороги в местах избытка битума.

Горячая насечка дорожного покрытия

Она включает разогрев асфальтобетонного покрытия, насечку и выравнивание поверхности дороги с дальнейшим уплотнением покрытия катком с целью улучшения сцепления, ровности и поперечных уклонов.

Горячее восстановление дорожного покрытия (Repaving) применяется при ремонте дорог в штате Юта в течение многих лет. Разогрев асфальтобетона производится одним или двумя разогревателями. Поверхность дорожного покрытия фрезеруется, и разбрызгивается пластификатор для данной смеси.

Холодное фрезерование старого покрытия

Такое фрезерование на глубину около 2,5 см позволяет выравнивать старое покрытие дороги и придает ему шероховатость.

Плотная смесь (PMS), приготовленная на цементобетонном заводе, укладывается на существующее дорожное покрытие и тщательно уплотняется.

В Федеральной дорожной администрации (FHWA) предложены следующие методы ухода за дорожным покрытием автомагистралей: герметизация трещин и швов в покрытии дороги; ремонт швов и участков, на которых наблюдается выкрашивание; уход за обочинами дорог; гидрофобизация дорожного покрытия; исправление провалов на примыканиях к мостам и путепроводам.

Терморегенерация на месте асфальтобетонных покрытий по способу Soave

Способ Soave в течение многих лет применяется в Италии, Швейцарии и Австрии для восстановления асфальтобетонных дорожных покрытий. В последние годы его стали применять во Франции.

За один проход комплекта специального оборудования не только устраняются дефекты покрытия (колеи, трещины), вызванные старением вяжущего, но и восстанавливаются свойства битума и гранулометрический состав регенерированного слоя в результате добавления нового битума и каменного материала (до 20%).

В комплект оборудования входят машина с батареями инфракрасного

излучения для предварительного разогрева дорожного покрытия, машина для регенерации покрытия с двумя батареями инфракрасного излучения и комбинированный виброкаток для уплотнения регенерированной смеси.

Чередование излучающих, отражающих и нейтральных батарей обеспечивает равномерное прогревание покрытия на глубину до 10 см без сжигания верхнего слоя покрытия. В зависимости от толщины регенерируемого покрытия (3-10 см), климатических условий, качества материала покрытия (содержания воды, вида каменных материалов по происхождению, состояния поверхности покрытия) используют одну или две машины для предварительного его разогрева. Кроме того, изменяются скорость движения комплекта оборудования, расстояние между машинами, скорость подачи пропана, на котором работают батареи. В результате температура на поверхности дорожного покрытия составляет 180°C, а в нижней части покрытия - 100°C.

Кроме батарей инфракрасного излучения, оборудование машины для регенерации включает резервуар для вяжущего и бункер для нового каменного материала, обработанного битумом, который подается на старое покрытие перед фрезой. После фрезерования материала старого асфальтобетонного покрытия осуществляется равномерное смешивание его фрезой с новым каменным материалом. Дальнейшее их перемешивание происходит при добавлении вяжущего (битума, нефти) с помощью десяти вращающихся в вертикальной плоскости насадок (на каждой имеется четыре пальца).

Полученная смесь равномерно распределяется по всей ширине восстанавливаемого участка покрытия и предварительно уплотняется при помощи отделочной плиты. Окончательное уплотнение смеси производится тяжелым комбинированным виброкатком.

При проведении терморегенерации покрытия по способу Soave необходимо осуществлять контроль за толщиной и ровностью восстанавливаемого слоя, температурой на поверхности и в нижней части покрытия и средней температурой за отбелочной плитой, степенью уплотнения после прохода катка.

На участке автомобильной магистрали А8 (Франция) по способу Soave было восстановлено покрытие общей площадью 53,6 тыс. м². На старом покрытии толщиной 7 см из асфальтобетона 0/14 с порфировым каменным материалом образовалось множество трещин.

Способ терморегенерации Soave позволяет полностью использовать материалы старого асфальтобетонного покрытия, обеспечивает снижение на 40% затрат по сравнению с традиционно используемыми технологиями

ремонта дорожной одежды

По асфальтобетонным покрытиям	
Износ	уменьшение толщины покрытия за счет потери им материала в процесс эксплуатации под воздействием колес транспорта природных факторов
Трещины: Образующие мелкую паутинообразную сетку образующие крупную сетку;	прогибы и осадки покрытия под влиянием вертикальных сил при неустойчивости оснований и подстилающих грунтов
Продольные и поперечные прямолинейного очертания, направленные параллельно или перпендикулярно к оси проезжей части, и криволинейного очертания	повышение вязкости и хрупкости битума, содержащегося в асфальтобетоне (старение); влияние на покрытие резких температурных колебаний; неравномерные деформации земляного полотна в осеннее, зимнее и весеннее время вследствие оттаивания и замораживания грунта; при грунтах, насыщенных слоями, вследствие их выщелачивания; несоответствие конструкции дорожной одежды интенсивности движения транспорта и нагрузкам; стыков асфальтобетонного покрытия, образовавшихся при укладке смеси в разное время
Сдвиги: с образованием наплывов, бугров и воли; с образованием разрывов в покрытии	принесоответствиипревышениикасательныхусилийв оздействующихнапокрытиеинедостаточномсопротив ленииисдвигу излишняяпластичностьасфальтобетонныхсмесейвсле дствииизбыткабитумаилиэмульсийраспределенноедл ясвязислоевдорожнойодежды <input type="checkbox"/> отсутствия сцепления между слоями асфальтобетонн ого покрытия и нижнего его слоя с основанием
Выкрашивание с образованием выбоин	<input type="checkbox"/> действие влага на покрытие выполненное на смесей повышенной пористости (недостаток битума в смеси, недоуплотнение смеси); <input type="checkbox"/> неудовлетворительное сцепление битума с по верх-ностью каменных материалов;
Проломы: на проезжей части	<input type="checkbox"/> потеря несущей способности основания вследствие переувлажнения грунта или пучено образования. Провалы земляного полотна, вызванные аварией подземных сооружений;
1	2

Просадки: пологие неопределенной формы Продольные и поперечные Прямоугольной формы	<input type="checkbox"/> неудовлетворительное качество земляного полотна при строительстве дороги, переувлажнение подстилающих грунтов <input type="checkbox"/> неудовлетворительная засыпка траншей грунтом при ремонтах или прокладке подземных сооружений
Вмятины (следы)	<input type="checkbox"/> воздействие на покрытие в летнее время выступающих частей металлических гусениц и ободов

3.3 Физико- механические исследование битума с добавкой поверхно-активных веществ.

При проведение исследование учитывалось, что в настоящее время в производстве нефтяных битумов уделяется внимание по получению модифицированных битумных материалов. Главной целью модифицирования является расширение интервалов пластичности,

повысить адгезию к минеральным материалам, увеличить устойчивость к старению, обеспечить механическую прочность, расширить рабочий интервал температур, обеспечить экологическую безопасность получения и др.

Для модифицирования битумов с различными поверхностно-активными веществами, которые способны улучшить его свойства, позволять расширить их область применения, получения качественных.

Регулировать свойства битумов возможно, путем добавления различных поверхностно-активными веществами. В результате подбора наилучшего соотношения битум-поверхностно-активными веществами можно достичь по необходимости улучшения одного или нескольких его свойств.

Поверхностно-активными вещества дополняют дисперсионную среду всей системы битума, тем самым снижают температуру размягчения и хрупкости, увеличивают пенетрацию. Основные критерии подбора добавки - это хорошая совместимость ее с битумов, высокая температура кипения или приемлемая температура плавления, доступность, дешевизна, нетоксичность, технологичность, возможность улучшать физико-химические и эксплуатационные свойства битума [45-47].

В этом направлении по нашему мнению значительный интерес к использованию в качестве поверхностно-активных веществ. Полученные результаты проведенных исследований при добавке СТГС в нефтяном битум марки БНД 60/90 сведены в таблицу 3.3.1

Таблица 3.3.1

Показатели	БНД 60/90	Моноэтаноламин		
		0,02 %	0,05%	0,08%
Глубина проникания иглы при: 25°C	61...90	72	78	70
0°C, не менее	20	22	24	29

Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	47	50	54	52
Растяжимость, см, не менее: при 25°С	50	60	97	68
0°С	3,5	3	3,5	3
Температура хрупкости, °С, не выше	15	16	20	17

Нами были проведены следующие работы:

Выбрано битум марки БНД 60/90 для проведения исследования по повышению его свойств.

В лабораторных условия взято 100гр битум марки БНД 60/90 и к нему были добавлено аминоспирт-моноэтаноламин. В следующий количестве.

К 100 гр битуму добавлено 0,02%, 0,05%, 0,08 % моноэтаноламина. (таблица 3.3.1), при этом температура битума 180°С. С помощью

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Концепция дальнейшего углубления демократических реформ и формирования гражданского общества в стране. Доклад Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на совместном заседании Законодательной палаты и Сената Олий Мажлиса Республики Узбекистан 12.11.2010.
2. Доклад Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на заседании правительства по итогам социально-экономического развития страны в 2010 году и важнейшим приоритетам на 2011 год.
3. Постановление от 25 октября 2006 г. № ПП 499 «О мерах по совершенствованию порядка проектирования, строительства и реконструкции автомобильных дорог общего пользования».
4. Постановление от 20 декабря 2006 г. № ПП 535 «О мерах по развитию автомобильных дорог общего пользования на 2007-2010 и последующие годы».
5. Постановление от 28 февраля 2008 г. № ПП 804 «О мерах по реализации проекта развития региональных автомобильных дорог с участием Азиатского банка развития».
6. Постановление от 20 января 2009 г. № ПП 1041 «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию производственной и социальной инфраструктуры».
7. Постановление от 22 апреля 2009 г. № 1103 ПП «О мерах по реконструкции и развитию Узбекской национальной автомагистрали на 2009-2014 годы».
8. Постановление от 21 декабря 2010 г. № 1446 ПП «об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах».
9. Asphalt Production and Recycling in Drum Mixers // Asphaltstrasse. – 1985. – N3. – P. 109-110, 112-114, 117-123.
10. Novak J. Roth R.H. Erfahrungen mit dem Remix – verfahren in der Schweiz // Strasse and Verkehr. – 1984, 70. N6. – P.209 -212.
11. Тимофеев А.А. Использование и переработка строго асфальтобетона. – М.: Стройиздат, 1976. – 74с.
12. Басе М.Г., Мелик-Багдасаров С.М. и др. Проблемы повторного использования регенерированного асфальтобетона в дорожном строительстве больших городов. – М.: ГОСИНТИ, 1976. - 21с.

13. Мартынович И.И., Усманов К.Х. Утилизация старого асфальтобетона // Автомобильные дороги. – 1984. – №9. – С. 14-15.
14. Зисман Н.И. Регенерирование обеспечивает замкнутый цикл использования асфальтобетона // Автомобильные дороги. – 1986 №6 – С.16-17.
15. Гмыря Б.С., Широкова Т.С., Ляандрес Г.Я. Опыт регенерации старого асфальтобетона // Автомобильные дороги. – 1987. - №8. С.11-12.
16. Руденский А.В. Дифференцирование требований к прочности и деформативности асфальтобетона для различных условий применения при строительстве покрытий: Автореф. Дис. .. д-ра техн. Наук. – Томск, 2000. – 41с.
17. Лысихина А.И., Сицкая Р.М., Авласова Н.М., Ястребова Л.Н. О стабильности битумов и взаимодействии их с минеральными материалами. – М.: Дориздат, 1952. -176с.
18. Руденская И.М. К вопросу о структуре и свойствах органических вяжущих материалов // Труды Гипродорнии. – М.: 1982. – Вып. 36. – С. 32-39.
19. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. – М.: Высшая школа. – 1969. – 396с.
20. Ладыгин Б.И. Прочность и долговечность асфальтобетона. – Мн.: Наука и техника, 1972. -286с.
21. Михайлов В.В. Основы улучшения и регулирования свойств дорожных битумов и битумо-минеральных материалов: Автореф. Дис. ...д-ра техн. Наук. – М.: Союздорнии, 1965. – 48с.
22. Сюньи Г.К. Дорожный асфальтовый бетон. – Киев: Изд-во литературы по строительству и архитектуре УССР, 1962.-234с.
23. Почанский Н.Ф., Тарасенко Л.П. Дорожный асфальтовый бетон. – Донецк: Донбасс, 1970. – 140с.
24. Билай Л.В. Регенерация использованного дорожного асфальтобетона: Автореферат дис. ... канд. Техн. Наук. – Киев: КАДИ, 1969. 20с.
25. Эммануэль Н.М., Зайков Г.Е., Майзус Э.К. Цепные реакции окисления углеводородов в жидкой фазе. – М.: Наука, 1973. – 354с.
26. Наметкин С.С. Химия нефти. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 800с.

27. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. – М.: Транспорт, 1973. -261с.
28. Королев И.В. Пути экономии битума в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1986. 149с.
29. Milkowsky W. Starzenie asfaltow I mas mineralnoasfaltowych // Drogownictwo. – 1983,38, N.10. – S.280-285.
30. Recyclage a froid des enrobes. Procede Recycold // Revue Generale des routes et des aerodromes. – 1986. – N 627. – P. 69-75.
31. Traxler R.N. // Ind. Eng. Chem. – 1966. – N6. – P.59.
32. Panecks W.S., Halstead V.N. // Public Roads. – 1959 – N6.
33. Печеный Б.Г. Долговечность битумных и битумоминеральных покрытий. – М.: Стройиздат , 1981. – 124с.
34. Бахрах Г.С. Старение асфальтовых покрытий и пути его замедления // Труды Гипродорнии. – М., 1974. Вып. 9. – С. 84-96.
35. Полойко В.Ф. Оптимизация состава битумоминеральных смесей в процессах регенерации дорожного асфальтобетона : дис. ... канд. техн. наук. – Мн., 1989. – 189с.
36. Плотникова И.А., Рымар Н.В. Арабов Р.Б. Исследование температурного режима переработки асфальтобетона, бывшего в эксплуатации // Труды Союздорнии. – М, 1986. – С. 67-72.
37. Nievelt G. Caracteristiques des liants bitumineux // Bitume Actual. – 1986. – V. 30. – N 84. – P.10-16.
38. Robert Freddy L., Kennedy Thomas W. Evaluating asphalt test and relating results properties of asphalts // Transp. Res. Rec. – 1982. – N 843. – P. 111-118.
39. Алиев А.М. Основы регенерации асфальтобетона : Автореф. дис. ... д-ра. техн.наук. – М.: ВЗИСИ, 1982. 41с.
40. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты): Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 310с.
41. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов // Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1980. №8. – С.61-

70.

42. Алиев А.М. Регенерация асфальтобетона . – Баку: Азернешр, 1985. – 275с.

43. Гезегцвей Л.Б., Горолышев Н.В. Богуславский А.М., Королев И.В. Дорожный асфальтобетон / Под ред. Л.Б.Гезенцева. – М.: Транспорт, 1985. - 350с.

44. Ильев Э.Б. Восстановление монолитности асфальтобетона в дорожных покрытиях: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков: ХАДИ, 1977. 24с.

45. Руденская Н.М. , Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. – М.: Транспорт, 1984. – 229с.

46. Ольховиков В.М., Бахра Г.С., Лупанов А.П., Горлина Г.С. Регенерация асфальтобетона и использованием масел нефтяного происхождения // Труды Гипродорнии . – М.,1984- вып. 43. - С. 106-112.

47. Поздняева Л.В. Технологии применения природных асфальтитов и включающих их битумсодержащих пород в дорожном строительстве // Труды Гипродорнии . – М., 1984. – Вып 43. – С. 40-48.

48. Гнатейко В.З., Григорович Н.Г. и др. Опыт использования тяжелой нефти в дорожном строительстве // Автомобильные дороги. – 1986. –№12. С.15-16.

49. Cragger Fritz. Uber die Regenerierung gealterter Bitumen // Asphaltstrasse – 1983, 17 N.4. – S 166-176.

50. Langumier G. Point de vue l'entreprise a propus du bilan de la compagne de recyclage en centrale 1981// Revue Generale des routes et des aerodromes/ -1982, 56, N584/ - P. 63-66, 69-111.

51. Танигути Тоёаки, Нагая Тацудзо, Такасаки Тэцуо. Разработки размягчителей для восстановления верхнего слоя дорожных покрытий // Доро кенсецу, Road Construc. -1985.-№450. – с. 46-55.

52. Козлов П.В., Папков С.П. Физико-химические основы пластификации полимеров. – М.: Химия, 1967. 231с.

53. Попченко С.Н. Гидроизоляция сооружений и зданий. – Л.: Стройиздат, 1981. -302с.

54. Каргин В.А., Слонимский Г.Л. Краткие очерки по физикохимии полимеров. – М.: Химия, 1967. – 231с.

55. Барамбойм И.К. Механохимия полимеров. – М.: Ростехиздат, 1961. –

270с.

56. Пушкаренко А.С. Исследование дорожных битумов, улучшенных остатками от регенерации отработанных смазочных масел: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков: ХАДИ 1978. – 29с.

57. Технические аспекты повторного применения битумоминеральных смесей с использованием стационарных смесителей // *Asphaltstrasse* – 1982, 16, №6. – С. 287-295.

58. Бахрах Г.С. Горлина Г.С., Лупанов А.П. Регенерация верхнего слоя асфальтобетонных покрытий способом термопластификации // Труды Гипродорнии. 1985. Вып.47. – с. 113-122.

59. Dickinson E.J. The evaporation of cuffers and fluxes sprayed seals // *Austral. Road Res.* – 1987, 17, N 7. – P. 73 -77.

60. Turrini F. Relezione sul riciclaggio dei conglomerate bituminosi con l'impiego fissi in cantiere o mobili "in sito" // *Quarry and Cjnstr.* – 1984, 22, N 7. – P. 73-77.

61. Hanzik V. Technologie znovupouiti starych uprav v oblovacich soupravach, mozonosti a cile jejího vyuziti v Praze // *Recycling xilichych vozovek/* -1981. N9. S. 49-66.

62. Алуксандров А.Я. , Алимов В.С. , Марчук А.И., Бибик М.П. Инфракрасные излучатели на ремонте дорог. – Рига: Авотс, 1982-99с.

63. Коган Г.Е. Совершенствование технологии текущего ремонта полов из асфальтобетона на основе использования тепловой энергии инфракрасного излучения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: 1975. – 16с.

64. Мориёси А. Нагревание асфальтобетонного покрытия с использованием микроволн // *Хосо.* – 1978, - №7. – с. 24-28.

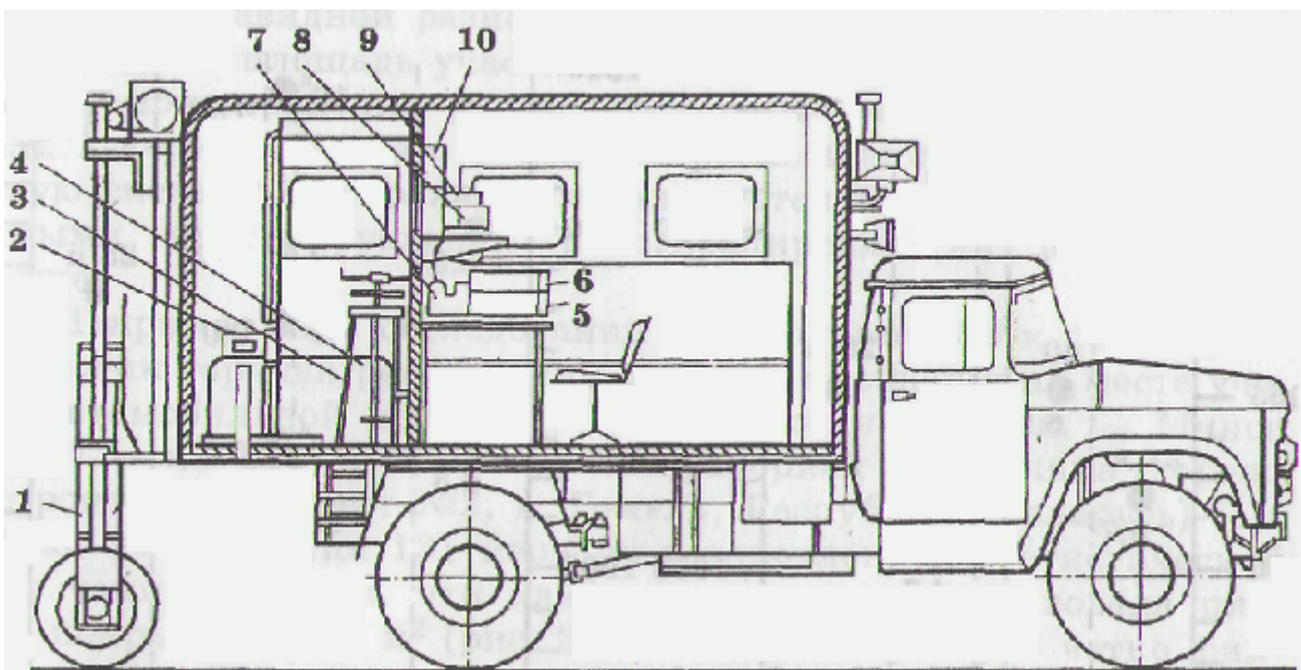
65. Zihman J. Verfahren und Einrichtungen zur Weiderraufbereitung von bituminosen Mischgut // *Strassen und Tiefbau* – 1981, 35 N 7. – S. 10-12, 14 - 15,30.

66. Сверхвысокочастотный нагрев асфальтобетонных покрытий / Д.Н. Поляков , Б.С. Суриков // *Наука и техника в дорожной отрасли.* – 1997. -№2 – С.28-29.

67. Солматин В.И. , Уральский И.А. арабов Р.Б. Основные параметры разогревателя для регенерации асфальтобетона // *Автомобильные дороги.* – 1984. – с25.

68. Рекомендации по технологии регенерации асфальтобетонных покрытий способом удаления асфальтобетона с переработкой на заводе. – София, 1985. – 17с.

1



2.3.1. Структурообразование асфальтобетонов

Асфальтобетон — типичный искусственный конгломератный материал, в котором твердая фаза, представленная полидисперсными минеральными составляющими с высокой степенью заполнения, распределена в жидкой дисперсной среде — органическом вяжущем материале. Как правило, в качестве вяжущего используется битум, который в свою очередь является сложной многокомпонентной молекулярно-дисперсией системой.

Для искусственных конгломератных материалов достаточно очевидным является вывод о том, что на их свойства в одинаковой степени влияют как собственные свойства исходных компонентов (минеральных наполнителей и органических вяжущих), так и особенности структуры, полученной в результате объединения исходных продуктов в конгломератное состояние. Особенно заметное влияние оказывают структурные связи на свойства асфальтобетонов, получаемых регенерационным путем.

Наиболее важными параметрами, характеризующими структурно-механические свойства асфальтобетона и наиболее глубоко изученными другими исследователями, являются размеры, форма и распределение по этим признакам минеральных частиц: их взаимное расположение, характер и особенности распределения битума в асфальтобетоне и свойства битумных слоев на минеральных зернах, объем пор и их распределение по размерам, соотношение объемов замкнутых и сообщающих пор, внешние признаки сорбции и др.

Для регенерированных асфальтобетонов наряду с перечисленными параметрами представляют интерес некоторые другие, неспецифичные признаки структуры. Это естественно, так как при получении асфальтобетонных смесей из новых материалов образуются определенные структурные связи, которые при регенерации разрушаются. Вместо них возникают новые связи, зачастую принципиально отличающиеся от старых, поскольку в образовании смеси участвуют уже не отдельные минеральные частицы и вяжущее вещество, а агрегатные системы, полученные из них до регенерационного процесса. К числу таких новых признаков структуры регенерированного асфальтобетона следует отнести характер распределения пластифицирующих добавок в асфальтовом вяжущем веществе, строение пленки битума на минеральных зернах и др.

Результаты исследований показали, что на эффективность распределения

пластифицирующих добавок в горячей асфальтобетонной массе основное влияние оказывают не механические процессы движения компонентов смеси при их перемешивании, а теплоэнергетические явления в данном конгломератном веществе. Под микроскопом можно наблюдать, как за счет теплообмена горячих агрегатных частиц с внешней средой происходит отрыв и удаление мельчайших капель вяжущего вещества от минеральных зерен. Сама битумная пленка при этом становится рыхлой, разрывается и уменьшается по толщине, создавая тем самым пластификатору возможность все ближе проникать к границе между битумным веществом и минеральным зерном. Данное явление напоминает собой микроизвержение одного вещества в другое и продолжается до тех пор, пока в этой системе не произойдет стабилизация (выравнивание) температурных полей. Таким образом, можно предположить, что при регенерации асфальтобетона чрезвычайно большую роль в смесеобразовании играют теплоэнергетические процессы, однако для количественной оценки этих явлений необходимы специальные теоретические и экспериментальные исследования.

Полученные результаты дают основание утверждать, что при достаточно эффективном перемешивании смеси миграция старого вяжущего удовлетворена и распределение «омолаживающего» вещества в массе равномерно по объему. Для регенерированного асфальтобетона с правильно подобранным составом и рациональной технологией характерно отсутствие двойного обволакивания вяжущим веществом зерен минерального материала.

Особого внимания при рассмотрении вопросов структурообразования регенерированных асфальтобетонов заслуживает изучение строения пленки битумного вяжущего на минеральных зернах. Как известно, существуют механическая связь вяжущего с породой, а также физическая (ван-дер-ваальсовая) и химическая сорбционные связи. Считается, что химически связанные с минеральными породами битумные вещества в отличие от свободных имеют более высокую интенсивность флуоресценции. Кроме того, для хемосорбционного взаимодействия характерно лучшее, более равномерное обволакивание минеральных зерен вяжущим, благодаря чему граница минералов имеет более резкие очертания.

Глава III. РЕГЕНЕРАЦИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ — ПУТЬ ЭНЕРГО И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Выполняемые в настоящее время ремонтно-профилактические мероприятия на асфальтобетонных дорогах с асфальтобетонным покрытием ограничиваются работами с использованием материалов с избыточным содержанием битума и устройством поверхностных обработок с периодичностью один раз в 4...5 лет. Поверхностная обработка с использованием материалов сомнительного качества и устаревшего оборудования стала в большинстве случаев альтернативой более углубленному капитальному ремонту.

В результате эксплуатации таких покрытий в его верхнем слое образуются такие дефекты, которые невозможно устранить традиционными способами: устройством выравнивающего слоя и одно- или двухслойного покрытия. Кроме того, образуется прослойка, состоящая из разномарочного битума и одномерного щебня, которая является одной из основных причин непрогнозируемых преждевременных разрушений и трудно устранимых дефектов.

Традиционные технологии капитального ремонта асфальтобетонных покрытий не обеспечивают продольной и поперечной ровности, не

замедляют развития трещин на поверхности нового покрытия, приводят к увеличению расхода битума на подгрун-товку и выравнивающие слои, что создает в свою очередь предпосылку для колееобразования, не обеспечивается совместная работа устраиваемых отдельно выравнивающего и верхнего слоев покрытия с нижними слоями.

В связи с резким увеличением в 70-е годы на мировом рынке цен на энергоресурсы в европейских странах начали активно разрабатывать новые технологии ремонта асфальтобетонных покрытий, основанные на работах «в нулевых отметках», без наращивания или с незначительным наращиванием конструктивных слоев дорожной одежды. Наибольшее распространение получила регенерация — рециклинг в зоне верхнего слоя существующего покрытия с обогащением его добавками нового материала и укладкой на месте в соответствии с проектным профилем. В зависимости от температуры технологического процесса рециклинга принято различать горячую и холодную регенерацию. Эти технологии позволяют максимально использовать материал существующего покрытия, существенно сократить транспортные расходы, улучшить проектные характеристики верхнего слоя.

Рис. 2.12. Сводная номограмма коэффициентов «технологического старения»

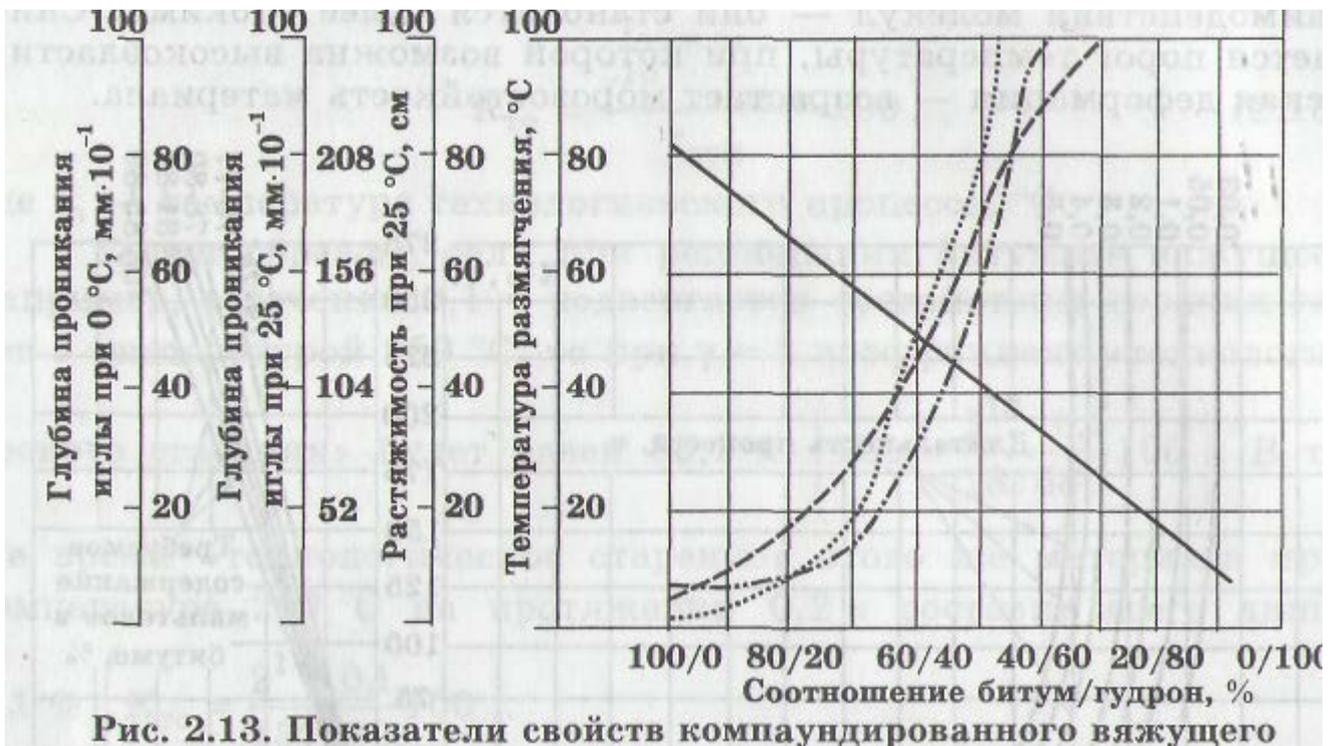
Пластификатор целесообразно вводить в количестве 0,2 — 0,6 % смеси. В качестве пластификаторов можно использовать нефтяной гудрон, жидкий битум, нефтяной пластификатор, дизельное топливо.

Пластификаторы следует применять обезвоженные и нагретые до следующих температур; жидкий битум — до 80... 100 °С, гудрон — до 100...120, нефтяной пластификатор — до 90...100 °С, дизельное топливо используют без нагрева.

Были проведены также исследования модифицированного битума [41]. В качестве модифицирующего компонента применялся нефтяной гудрон. Вязкость гудрона по стандартному вискозиметру при 60 °С находилась в пределах от 15 до 60 °С, вязкость исходного битума — 90/10.

Результаты испытаний показали, что гудрон является высокоэффективным пластифицирующим средством для битумов, вязкость которых в процессе эксплуатации дорожного асфальтобетона понизилась до 10—40 град пенетрации. При этом оптимальное соотношение старого вяжущего и «омолаживающего» его гудрона находится в пределах от 60/40 до 50/50.

Результаты испытаний компаундированного битумного вяжущего приведены на рис. 2.13.



С другой стороны, для асфальтобетонов, подлежащих переработке и у которых в процессе эксплуатации вязкоупругопла-стические свойства вяжущего материала изменились незначительно, добавление пластифицирующего компонента (в данном случае гудрона) необходимо производить в меньшем количестве. Это показано на примере компаундирования битума БНД 60/90 с гудроном $S_{60} = 15$ с (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Физико-механические показатели компаундированных вяжущих

Показатели	Соотношение битума БНД 60/90 и нефтяного гудрона
------------	--

	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60
Глубина проникания иглы: при 25 °С	86 26	117 30	165 36	234 48	255 62	300 127	300 235
Температура	47	43	42	38	36	35	32
Растяжимость при 25	100	100	100	100	100	100	100

Таким образом, оптимальное количество гудрона для пластификации битумного вяжущего до вязкости, присущей битуму БНД 90/130, в данном случае составляет 10... 15 % по массе.

Приведенные данные являются всего лишь частными примерами, подтверждающими теоретические положения данной главы. На основе результатов экспериментальных исследований, а также с учетом Штаундигера, устанавливающего зависимость вязкости от молекулярной массы битумов, В.Ф. Полойко разработана номограмма (рис. 2.14), объединяющая большинство возможных вариантов получения компаундированных вяжущих.

Для модельных смесей, полученных на основе битума БН 90/100 и нефтяного гудрона ($S_{b0} = 45$ с), методом бумажной хроматографии было определено содержание асфальтенов, смол и масел (см. рис. 2.15).

Как видно из графика, оптимальный компонентный состав вяжущего (заштрихованная область) наряду с оптимизацией по физико-механическим свойствам обеспечивается при наиболее благоприятном соотношении исходных вяжущих материалов, т.е. близком к единице. Тем самым подтверждается правильность выбранного методического подхода к получению оптимального соотношения вяжущих и пластифицирующих ингредиентов по их групповому составу.

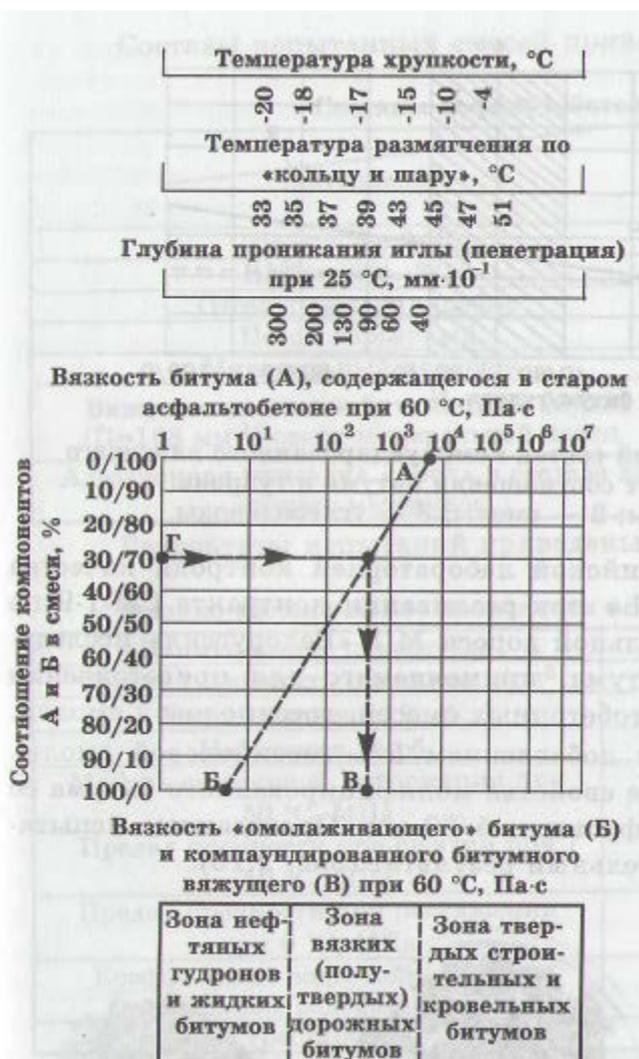


Рис. 2.14. Номограмма для определения свойств компаундированных битумных вяжущих

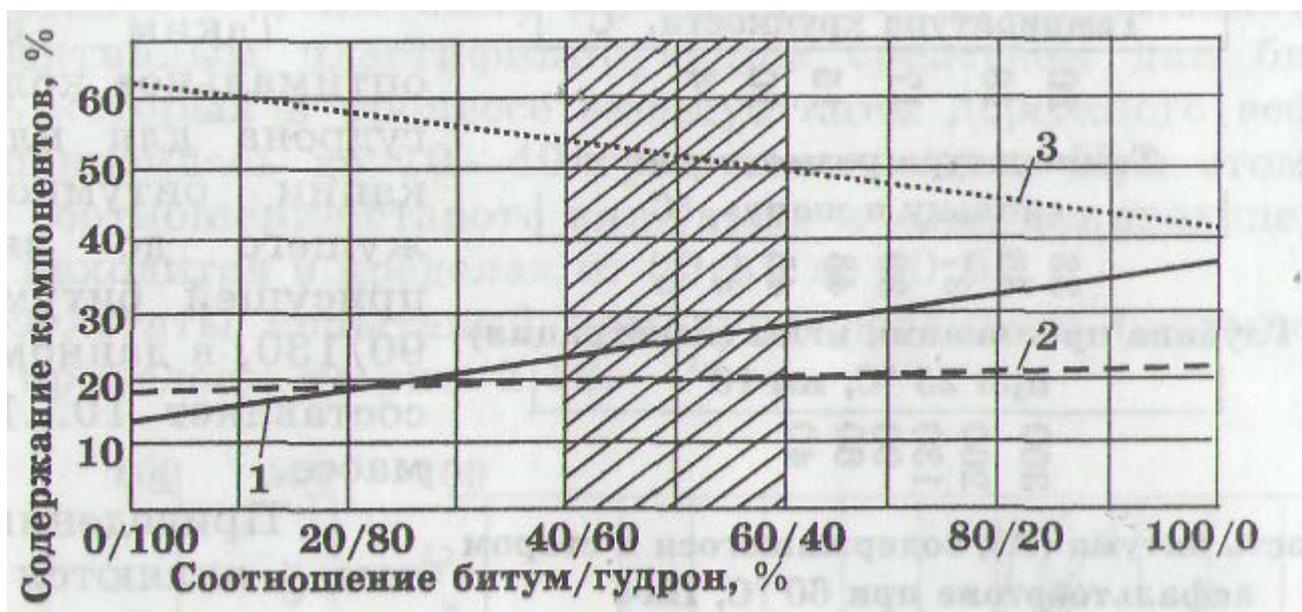


Рис. 2.15. Компонентный состав компаундированного вяжущего в зависимости от соотношения битума и гудрона: 1 — асфальтены; 2 — смолы; 3 — углеводороды

Независимой австрийской лабораторией контроля качества «Nievelt Labor Ges.m.V.H.» при реализации контракта СМ-1-9 по реконструкции автомобильной дороги М-1 «Белоруссия» исследовалась модификация битума, применяемого для приготовления горячих плотных асфальтобетонных смесей, госсиполовой смолой. Битум модифицировался добавлением 5 % госсиполовой смолы. Проверялись адгезионные свойства модифицированного битума со щебнями кислых пород фракции 5/20 мм. Проведенные испытания дали неудовлетворительный результат (рис. 2.16).



Рис. 2.16. Результаты испытания адгезии модифицированного госсиполовой смолой битума к щебню на трех образцах

Испытательным центром РУП «Белдорнии» проводились испытания асфальтобетонных смесей, приготовленных с применением битумов, модифицированных адгезионной добавкой «Азол».

Составы испытанных смесей приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Материалы	Содержание материалов, %	
	Состав 1	Состав 2
Щебень фр.5/20	26	26
Щебень фр. 5/10	26	26
Отсев дробления щебня	20	20
Песок карьерный	20	20
Минеральный порошок	8	8
Вязущее на основе битума БНД 90/130 (11=108 мм ⁻¹) сверх минеральной части	5,6	5,6
Адгезионная присадка «Азол» в составе вяжущего материала	0,7	1,0

Результаты испытаний приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 Физико-механические

показатели асфальтобетонных смесей

Наименование показателя	Состав 1	Состав 2
Средняя плотность образцов, г/см ³	2,50	2,50
Водонасыщение, % об.	0,6	0,5
Набухание, % об.	0	0
Модуль остаточной деформации при 50 °С, МПа	171	195
Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа	1,9	2,4
Предел прочности при растяжении при 0 °С, МПа	2,9	3,2
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	0,94	1,0
Индекс трещиностойкости	1,36	1,52

Белорусскими учеными [61] проводился эксперимент по модификации битума в процессе регенерации. Модификация проводилась комплексным модификатором, состоящим из строительного битума марок БН 70/30 или БН 90/10 в качестве структуро-образователя и остаточного масляного экстракта селективной очистки масел в качестве пластификатора.

Экспериментальным путем было установлено оптимальное соотношение строительный битум — экстракт 60/40, % мае. При таком соотношении был получен модификатор со следующими характеристиками: температура размягчения — 41 °С, глубина проникания иглы при 25 °С — 138 мм·10⁻¹, при 0 °С — 31 мм·10⁻¹, растяжимость при 25 °С — 87 см. Данная композиция позволяет восстановить свойства битума из

отработанного асфальтобетонного покрытия.

Испытания проводились на переформованных образцах из отработанного асфальтобетона без добавок и с разным количеством модифицирующих добавок. Результаты испытаний приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты испытания регенерированного асфальтобетона

Наименование показателей	Требования ГОСТ 9128-97	Показатели асфальтобетонной смеси		
		Без добавок	Добавка 0,5 %	Добавка 1 %
Предел прочности при сжатии: при 60 °С, МПа при 20 °С, МПа	0,9	2,3	1,9	1,6
	0,2	5,6	5,2	4,9
Коэффициент водостойкости	0,8	0,74	0,84	0,97
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	0,75	0,68	0,82	0,92
Водонасыщение, % об.	1,3—4,0	1,5	3,5	2,4
Набухание, % об.	до 1,5	0,8	0,7	0,73

Как видно из таблицы, переформованная отработанная асфальтобетонная смесь, не содержащая добавок, отличается повышенными прочностными характеристиками, особенно при 50 °С, но имеет недостаточную водостойкость.

Высокие прочностные характеристики обусловлены повышенным значением температуры размягчения и пониженной пенетрацией состарившегося битума. В соответствии с полученными результатами испытаний следует также ожидать высокое значение прочности асфальтобетона при 0 °С, намного выше нормы 12 МПа, что приведет к сильному трещинообразованию в холодное время года. Учитывая, что состарившийся битум характеризуется низкими значениями показателя растяжимости, можно прогнозировать непродолжительный срок службы переформованного отработанного асфальтобетона, не содержащего специальных добавок для модификации битума, несмотря на хорошие прочностные показатели.

Испытания показали, что добавление 0,5 % модификатора на минеральную часть позволяет получить горячую плотную асфальтобетонную смесь, удовлетворяющую нормативным требованиям ГОСТ 9128-97. При содержании добавки в количестве 1 % качество асфальтобетона повышается еще в большей степени, особенно водостойкость. При этом наблюдается некоторое снижение прочностных характеристик (в пределах нормативных требований), что можно объяснить снижением температуры размягчения и повышением пенетрации «исправленного» битума и общим повышением содержания вяжущего в составе регенерированного асфальтобетона.

2.2.2. Модификация битумов полимерами

Композиции битумов с полимерами представляют собой физические системы типа растворов, тонких и грубых дисперсий, образование которых не сопровождается химическим взаимодействием.

Полимерные добавки химически не взаимодействуют с битумом. Растворяясь или диспергируя в битуме, они способствуют упрочнению его структуры. Благодаря этому полимерно-битумная композиция приобретает ряд ценных физико-механических свойств и высокую устойчивость к старению.

Совместимость полимера с битумом зависит от химического строения полимера, его молекулярной массы, а также метода введения. Важную роль играет химическая природа битума.

При одинаковой массовой доле асфальтенов в битуме решающее значение для совместимости с полимерами имеет химический состав масляного компонента.

Битум, содержащий много масел ароматической природы, лучше совмещается с полимерами, содержащими ароматические или ненасыщенные звенья. Битумы из нефти парафиновой природы лучше совмещаются с полимерами насыщенного ряда или содержащими

незначительное количество непредельных связей. Поэтому для полимерно-битумных композиций следует использовать битумы с достаточно высоким содержанием масляного компонента, который обеспечивает температуру размягчения 45...70 °С. Высокоокисленные битумы с температурой размягчения выше 70 ... 80 °С обладают дисперсионной средой, изменить свойства которой добавками полимеров трудно, часто невозможно, потому для полимерно-битумных композиций их использовать нецелесообразно.

В качестве полимерного модификатора могут использоваться каучуки.

Важной особенностью строения молекул каучуков является способность к большим эластическим деформациям: под действием внешних сил нагрузки они стремятся принять свою первоначальную конфигурацию. Кроме того, в молекулах каучука содержатся реакционные центры, благодаря которым они вулканизируются. При вулканизации образуются поперечные связи между макромолекулами эластомера, и при этом изменяется твердость, растворимость, химическая стойкость и другие свойства.

В полимерно-битумных композициях целесообразно использовать каучуки общего назначения (бутилкаучук, полиизопрен, бутан — стирольные каучуки), способные набухать и частично растворяться в маслах.

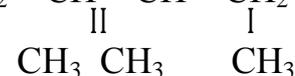
Выбор типа каучука для полимерно-битумной композиции определяется требованиями к свойствам изделия, в котором компаунд будет использован, так как набухший полимер образует в битуме пространственную структурную сетку и передает всей системе свои качества.

Бутадиеновые каучуки — хорошие модификаторы битумов, они улучшают низкотемпературные характеристики органических вяжущих, износостойкость и водонепроницаемость.

Бутадиен-стирольные каучуки также увеличивают водонепроницаемость и улучшают низкотемпературные свойства. На территории стран бывшего Советского Союза самым распространенным материалом этой группы является стирол-бутадиен-стирол (СБС), имеющий изотактический, регулярный характер (—СН₂—СН—)_n.



В Европе вместе с тем принят к использованию атактический, стереобеспорядочный стирол-бутадиен-стирол (—СН₂—СН—СН—СН₂—СН—).



Маслостойкие каучуки не растворяются и не набухают в парафинонафтеновых и нафтеноароматических соединениях и поэтому являются малоэффективными модификаторами битума.

Если возникает необходимость использовать такие полимеры, то необходимо обеспечить максимально возможную поверхность раздела битум — полимер. Для этого используют растворы полимеров, поверхностно-активные вещества или применяют специальные диспергирующие устройства для соединения битума с полимерами.

Маслостойкие каучуки рекомендуется использовать для повышения температуры размягчения, снижения пенетрации и температуры хрупкости битумно-полимерных композиций.

Термоэластопласты — это класс полимеров, сочетающих свойства термопластов и вулканизированных эластомеров. В них эластомерные блоки (полибутадиена, полиизопрена и др.) чередуются со стеклоподобными блоками (полистирола, поли-а-метилстирола, поливинилтолуола и др.). Благодаря особенностям своего строения они хорошо совмещаются с битумами. Полученные компаунды обладают отличными механическими свойствами, высокой гидрофобностью, хорошими низкотемпературными характеристиками, улучшенными адгезионными свойствами.

Полибутадиеновый блок в термоэластопластах имеет температуру стеклования от -90 до -100 °С, полиизопреновый от -60 до -70 °С. Блоки полистирола и поли-а-метилстирола построены

атактически и имеют температуру стеклования от -80 до -100 °С. При возрастании содержания стирола в термоэластопластах до 30...40 % прочность при растяжении возрастает, а при большем содержании — падает,

одновременно уменьшается эластичность и относительное удлинение, увеличивается твердость полимера.

Как показали исследования, оптимальное содержание винилароматического соединения составляет [137, с.17]:

- стирола в бутадиен-стирольных термопластах 28...30 %;
- в изопрен-стирольных 15...40 %;
- а-метилстирола — 30...40 % масс.

Анализируя приведенные в патентах и научной литературе результаты модифицирующего действия полимеров на битум, следует отметить, что в качестве модифицирующих добавок к битумам используются почти все полимеры.

В Республике Беларусь в промышленных объемах для дорожного строительства модифицированные битумы производятся ПРСО «Минскоблдорстрой» на специализированном предприятии «Веска» [166].

В зависимости от назначения данное предприятие производит следующие марки модифицированных битумов:

БМА 50/70, БМА 70/100, БМА 100/130 — для приготовления асфальтобетонных смесей;

БМП 100/150, БМП 150/200 — для устройства поверхностных обработок;

БММ 130/150 — для устройства битумно-полимерных прослоек (мембран) по цементобетонному покрытию перед началом производства работ по устройству защитного слоя.

В качестве добавки, создающей пространственную эластичную структурную сетку в битуме, на этом предприятии используют полимеры класса термоэластопластов — блоксополимеры СБС (стирол-бутадиен-стирол). Показатели испытания модифицированных битумов, производимых на ГП «Веска», приведены в табл. 2.5.

(Таблица 2.5

Характеристики битума модифицированного

Показатели	Нормы по маркам			
	БМ 70/100		БМ 100/130	
	Нормы по ТУ	Показатели ГП «Веска»	Нормы по ТУ	Показатели ГП «Веска»
1	2	3	4	5
Глубина проникания иглы при 25 °С, ММ'Ю ⁻¹	71—100	95	101—130	120

1	2	3	4	5
Температура размягчения по кольцу и шару, t °С	Не ниже 55	77	Не ниже 60	70
Растяжимость при 0 °С, см	Не менее 13	47	Не менее 15	68
Температура хрупкости, t °С	Не выше -20	-35	Не выше -25	-35
Эластичность при 13 °С	Не менее 60	82	Не менее 70	81
Коэффициент сцепления с гранитным щебнем	Не менее 0,9	1,0	Не менее 0,9	1,0

2.2.3. Совместимость полимеров с битумами

Для прогнозирования растворимости полимеров в битуме можно использовать параметр растворимости Хильдебранта δ в $(\text{Мдж}/\text{м}^3)^{0,5}$, который определяется по внутренним теплотам испарения I , $\text{Мдж}/\text{м}^3$.

Вещества дают истинные растворы, если теплоты испарения их приблизительно равны. Для полимеров и битумов, как не летучих веществ, используют параметр растворимости.

Для битума параметр растворимости 17,4 $(\text{Мдж}/\text{м}^3)^{0,5}$, для насыщенных

мальтенов — 14,3, ароматических мальтенов — 18, смол — 28,6 и асфальтенов — 20 (Мдж/м³)^{0,5}.

Хорошо совмещаются с битумами полимеры с близким значением параметров растворимости.

Значения параметров растворимости некоторых полимеров в (Мдж/м³)^{0,5} следующие [137]:

Полиметилметакрилат	18,6—
Политетрафторэтилен	19,4
Полидиметилсилоксан	12 7
Полиэтилен	14,9—
Полиизопрен	15,5
Полибутадиен	15,7—
Полихлоропрен	17,0
Полистирол	16,2—
Полипропилен	17,0
Поливинилхлорид	16,6—
Поливинилацетат	17,2
Полиэтилентерефталат	16,8—

Из приведенных данных следует, что по параметру растворимости полиэтилен ближе к насыщенным мальтенам, а полипропилен, полистирол, полиизопрен, полибутадиен и др. — к ароматической части мальтенов.

С увеличением молекулярной массы полиэтилена возрастает и параметр растворимости до 18 (Мдж/м³)^{0,5}, т. е. высокомолекулярные полиэтилены должны лучше совмещаться с менее насыщенными соединениями.

Изменение свойств битума при введении полиэтиленов различной молекулярной массы приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6 Свойства битумов

Молекулярная масса	Массовая доля полиэтилена, %					
	5			10		
Полиэтилена, а.е.м.	Температура размягчения, °С	Пенетрация, 0,1 мм	Температура хрупкости, °С	Температура размягчения, °С	Пенетрация, 0,1 мм	Температура хрупкости, °С
Исходный битум	45	70	-8	45	70	-8
700	52	80	-14	58	84	-20
1200	60	50	-11	79	40	-16
2600	59	47	-13	96	53	-12
5700	62	51	-10	99	47	-15
19000	59	38	-11	89	24	-19
45000	59	38	-10	86	25	-18
75000	60	44	-9	80	32	-19
150000	56	45	-12	69	34	-11

Как видно из табл. 2.6, при совмещении с битумами полиэтиленов с молекулярной массой 700...1000 а.е.м. значительная доля их растворяется в масляных компонентах, модифицируя сразу полимербитум. Наилучшие изменения происходят при введении до 5 % масс полимера.

При увеличении доли полиэтилена выше 5 % масс исчерпывается резерв масел битума и часть полимера не растворяется и остается в набухшем состоянии. Вследствие упрочнения структурного каркаса резко повышается температура размягчения.

В то же время среда полимерно-битумной системы обедняется маслами, израсходованными на набухание полимера, поэтому пенетрация начинает снижаться. С повышением молекулярной массы полиэтилена растет его когезионная прочность и при совмещении с битумом он не растворяется, а только набухает в нем, причем тем меньше, чем выше молекулярная масса.

Это положение хорошо иллюстрируется данными табл. 2.6. Так, при введении в битум 10 % масс полиэтиленового воска с молекулярной массой 700 а.е.м. температура размягчения его повышается от 45 до 58 °С, температура хрупкости снижается до

-20 °С. Такая же доля полиэтиленового воска с молекулярной массой 5700 а.е.м. повышает температуру размягчения системы до 99 °С, температура хрупкости снижается до -15 °С.

При добавлении в битумы более высокомолекулярных полиэтиленов

получают композиции, уступающие по физическим характеристикам компаундам на основе полиэтиленов с молекулярной массой 2600...45000 а.е.м. Это объясняется тем, что высокомолекулярные полиэтилены мало набухают в битумах и ведут себя в системе как инертный наполнитель.

Таким образом, наиболее эффективными модификаторами битума являются набухающие в нем полимеры.

2.2.4. Способы введения полимеров в битумы

В настоящее время принято использовать следующие способы совмещения полимеров с битумом:

— совмещение крупнокускового эластомера, предварительно хорошо пластифицированного на вальцах, с битумом в смесителе;

— совмещение полимера в виде крошек или гранул в смесителе с расплавленным битумом;

— введение в битумы растворов полимеров в низкоплавких битумах и маслах при температуре 180...200 °С;

— совмещение с битумом растворов полимеров в органических растворителях (лигроин, керосин, толуол и т.п.); растворы легко вводятся в расплавленный битум и дают однородные смеси;

— введение полимеров в виде порошков в расплавленный битум в виде латексов при интенсивном перемешивании.

Для улучшения совместимости с битумом полимеров, не растворимых и не набухающих в растворителях, в качестве третьего компонента следует добавлять полимер, хорошо растворимый в битуме.

Совмещение полимеров с битумами обычно осуществляется в смесителях при температуре выше 150 °С, но не превышающей температуру разложения полимера, или каландрированием на вальцах в различных температурных режимах.

Способ модификации нефтяных битумов методом физико-химического перемешивания имеет низкую производительность при высокой энергоёмкости процесса и стоимости.

В настоящее время приготовление модифицированных битумов рекомендуется осуществлять по одной из технологических схем:

— путем смешения необходимого количества отдельно при готовленном концентрата пластомерной обавки с исходным битумом (рис. 2.17);

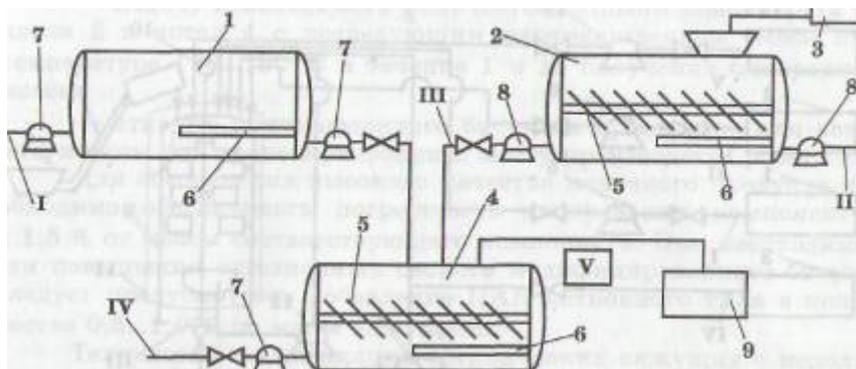


Рис. 2.17. Технологическая схема приготовления битума модифицированного:

- 1 — котел для подготовки битума; 2 — котел для приготовления концентрата полимера; 3 — контейнер для подачи полимера;
- 4 — котел для приготовления битума модифицированного;
- 5 — лопастная мешалка; 6 — нагревательный элемент; 7 — битумные насосы; 8 — насос пластификатора; 9 — емкость для ПЭВ;
- I — линия подачи битума; II — линия подачи модификатора;
- III — линия подачи концентрата; IV — откачка готового битума;
- V — линия подачи ПЭВ

— в установке «Брайнинг» (см. рис. 2.18);

— в установке «Риншваль» (см. рис. 2.19) [138].

Технологический процесс приготовления битумов модифицированных по первой технологической схеме включает следующие операции:

— подготовку битума в котле 1 (выпаривание и разогрев до температуры

120...140 °С);

—дозирование и загрузку в котел 2 необходимого количества обезвоженного пластификатора;

—разогрев пластификатора до температуры 90...100 °С;

—загрузку в котел 2 необходимого количества пластимерной добавки в два-три приема с тщательным перемешиванием каждой порции в течение 15...20 мин;

—приготовление в котле 2 концентрата путем тщательного перемешивания модификатора с пластификатором при температуре 180...190 °С в течение 1...1,5 ч до получения однородной гомогенной массы (при использовании в качестве пластификатора экстракта фенольной очистки масел или индустриального масла следует готовить 20...30 %-ные концентраты, а при использовании гудрона — 15...20 %-ные концентраты);

—подачу необходимого количества битума из котла 1 в котел 4 и перемешивание его в течение 2...3 мин;

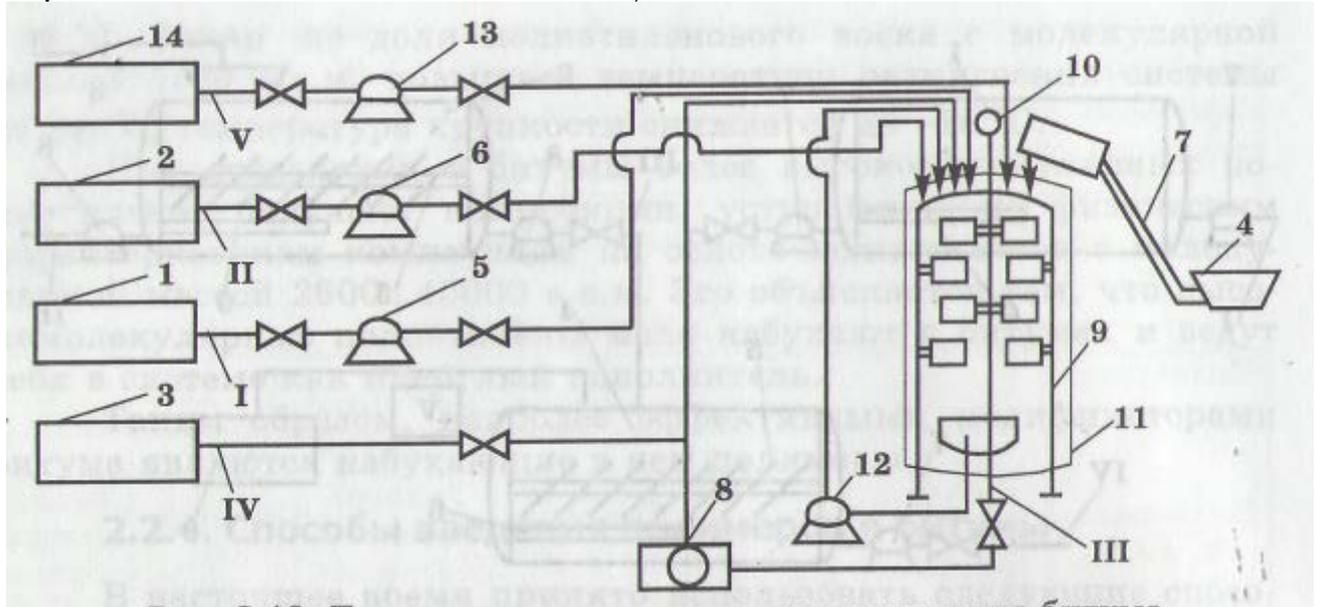


Рис. 2.18. Технологическая схема приготовления битума модифицированного в установке «Брайнинг»:

- 1 — емкость для исходного битума; 2 — емкость для пластификатора;
- 3 — емкость для битума модифицированного; 4 — контейнер для подачи полимера; 5 — насос для битума;
- 6 — насос для пластификатора; 7 — винтовой контейнер для подачи модификатора; 8 — коллоидная мельница; 9 — реактор;
- 10 — лопастная мешалка; 11 — масляная рубашка;
- 12 — циркуляционный насос; 13 — насос для подачи ПАВ;
- 14 — емкость для ПАВ;
- I — линия подачи битума; II — линия подачи пластификатора;
- III — линия циркуляции полимера с битумом и пластификатором;
- IV — линия откачки битума модифицированного;
- V — линия подачи ПАВ

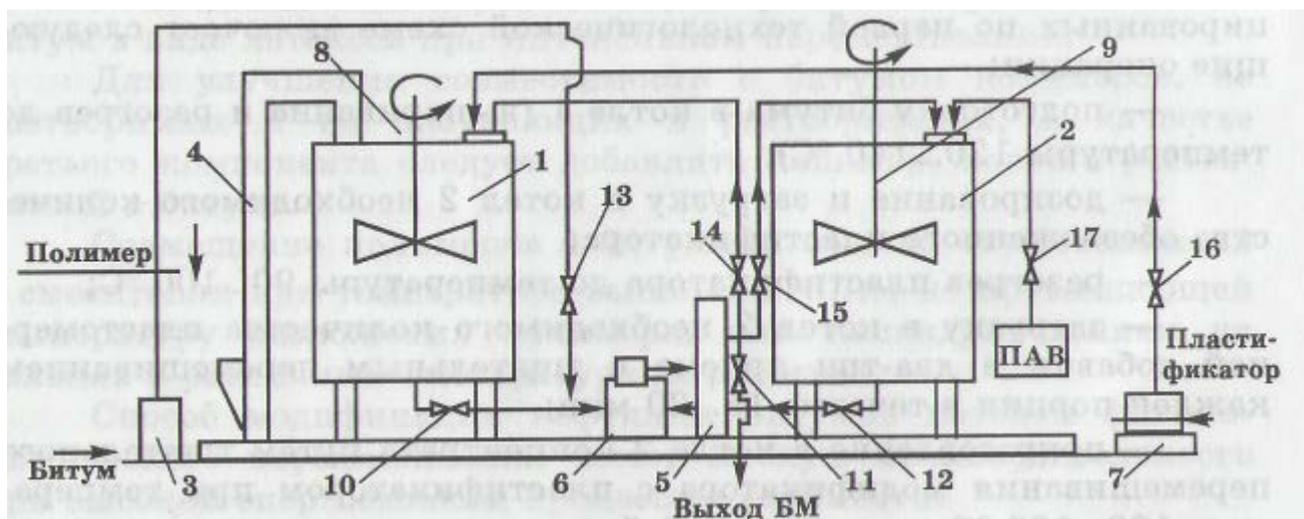


Рис. 2.19. Технологическая схема приготовления битума модифицированного в установке «Риншваль»:

- 1 — реактор дозирования-смешивания; 2 — реактор «дозревания»;
 3 — емкость для исходного битума; 4 — загрузочный элеватор для подачи полимера; 5 — коллоидная мельница; 6 — насос для закачки смеси компонентов и битума; 7 — насос для подачи пластификатора
 8, 9 — мешалки лопастные; 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 — краны

—подачу необходимого количества готового концентрата из котла 2 в котел 4 с последующим перемешиванием смеси при температуре 170... 180 °С в течение 1 ч до получения однородной массы;

—откачку приготовленного битума в хранилище или автобитумовозы для транспортировки к месту производства работ.

Для обеспечения высокого качества конечного продукта необходимо обеспечивать погрешность дозирования компонентов $\pm 1,5\%$ от массы соответствующего компонента. При необходимости повышения адгезионных свойств модифицированного битума следует предусмотреть добавление ПАВ катионного типа в количестве 0,5... 1,0 % по массе вяжущего.

Технологии модификации органических вяжущих с использованием специализированных установок (например, «Брайнинг» (Германия) и «Риншваль» (Франция)) отличаются от вышеописанной тем, что для перемешивания битума с модификационной, пластифицирующей и другими добавками используются лопастная мешалка и коллоидная мельница. Вместе с тем температура технологического процесса также должна быть обеспечена в пределах 170—180 °С, а время приготовления — 1... 1,5 ч. Процесс циркуляции должен продолжаться до полного растворения полимера, которое контролируется по однородности вяжущего.

Способ соединения битума с полимером каландрированием на вальцах или экструзией при различных температурных режимах более эффективен. Вместе с тем этот способ также малопроизводителен (время приготовления компаунда 1,0...1,5 ч) и имеет большую энергоемкость из-за высокой температуры процесса и необходимости многократной переработки для получения качественного результата.

В результате проведенных исследований нами предложен метод соединения битума с модификатором, основанный на принципе кавитации.

Сущность данного способа заключается в следующем. Битум, разогретый до пластического состояния (90... 110 °С), и модификатор с определенной скоростью и под определенным давлением подаются на кавитатор, где за счет сужения потока происходит увеличение скорости течения, что приводит к снижению давления в потоке битума и пластификатора. Это вызывает «закипание» смеси битума и полимера, образуются пузырьки, в момент разрыва которых высвобождается энергия, в том числе тепловая, образуется ультразвуковое поле. За счет высвобождаемой энергии происходит разрыв молекулярных связей битума и модификатора и образование новых молекулярных связей компаунда.

Предлагаемый способ позволяет существенно снизить энергоемкость процесса при резком увеличении производительности.

2.3. УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

По результатам оценки ровности покрытия, прочности дорожной одежды и лабораторных испытаний кернов назначается способ регенерации и особые меры по обеспечению конкретных качественных параметров регенерированной смеси:

— поперечный профиль асфальтобетонного покрытия позволяет определить глубину его разрыхления, что дает возможность судить о том, какой метод должен быть использован для его восстановления;

— состав смеси и свойства асфальтобетона говорят о том, соответствуют ли зерновой состав, количество и вязкость битума, а также показатели свойств асфальтобетона будущим транспортным нагрузкам на покрытие и погоднo-климатическим факторам, т.е. будет ли покрытие иметь требуемую трещино-, сдвиго- и коррозионную стойкость. Ответ на этот вопрос диктует назначение способа терморегенерации (Reshape, Repave, Remix или Remix-Plus); вязкость (пенетрация) извлеченного из покрытия битума характеризует степень его старения в технологическом процессе изготовления и применения асфальтобетонной смеси при строительстве покрытия и в процессе его эксплуатации, по величине фактической и требуемой вязкости назначаются мероприятия по «омоложению» битума путем его пластификации.

Управление качеством регенерированных смесей основано на учете результатов анализа старого асфальтобетона. Факторами, определяющими требования к качеству регенерированной смеси, являются будущие транспортные нагрузки на покрытие и погоднo-климатические условия. Они определяют требуемые:

— трещиностойкость;

— сдвигоустойчивость;

—Н коррозионную стойкость.

Требуемая трещиностойкость покрытия после его терморегенерации обеспечивается вязкостью битума.

Требуемая сдвигоустойчивость регенерированного асфальтобетона достигается за счет создания (проектирования) гранулометрического состава.

Коррозионная стойкость асфальтобетона в покрытии после его регенерации достигается необходимой плотностью асфальтобетона, которая зависит от зернового состава и количества битума в нем, а также адгезией битума к поверхности каменного материала. Кроме того, необходимо регламентировать условия уплотнения смеси.

Для правильного управления качеством регенерированных смесей важно четко представлять процессы структурообразования асфальтобетонов.

2.3.1. Структурообразование асфальтобетонов

Асфальтобетон — типичный искусственный конгломератный материал, в котором твердая фаза, представленная полидисперсными минеральными составляющими с высокой степенью заполнения, распределена в жидкой дисперсной среде — органическом вяжущем материале. Как правило, в качестве вяжущего используется битум, который в свою очередь является сложной многокомпонентной молекулярно-дисперсией системой.

Для искусственных конгломератных материалов достаточно очевидным является вывод о том, что на их свойства в одинаковой степени влияют как собственные свойства исходных компонентов (минеральных наполнителей и органических вяжущих), так и особенности структуры, полученной в результате объединения исходных продуктов в конгломератное состояние. Особенно заметное влияние оказывают структурные связи на свойства асфальтобетонов, получаемых регенерационным путем.

Наиболее важными параметрами, характеризующими структурно-механические свойства асфальтобетона и наиболее глубоко изученными другими исследователями, являются размеры, форма и распределение по этим признакам минеральных частиц: их взаимное расположение, характер и особенности распределения битума в асфальтобетоне и свойства битумных слоев на минеральных зернах, объем пор и их распределение по размерам, соотношение объемов замкнутых и сообщающих пор, внешние признаки сорбции и др.

Для регенерированных асфальтобетонов наряду с перечисленными параметрами представляют интерес некоторые другие, неспецифичные

признаки структуры. Это естественно, так как при получении асфальтобетонных смесей из новых материалов образуются определенные структурные связи, которые при регенерации разрушаются. Вместо них возникают новые связи, зачастую принципиально отличающиеся от старых, поскольку в образовании смеси участвуют уже не отдельные минеральные частицы и вяжущее вещество, а агрегатные системы, полученные из них до регенерационного процесса. К числу таких новых признаков структуры регенерированного асфальтобетона следует отнести характер распределения пластифицирующих добавок в асфальтовом вяжущем веществе, строение пленки битума на минеральных зернах и др.

Результаты исследований показали, что на эффективность распределения пластифицирующих добавок в горячей асфальтобетонной массе основное влияние оказывают не механические процессы движения компонентов смеси при их перемешивании, а теплоэнергетические явления в данном конгломератном веществе. Под микроскопом можно наблюдать, как за счет теплообмена горячих агрегатных частиц с внешней средой происходит отрыв и удаление мельчайших капель вяжущего вещества от минеральных зерен. Сама битумная пленка при этом становится рыхлой, разрывается и уменьшается по толщине, создавая тем самым пластификатору возможность все ближе проникать к границе между битумным веществом и минеральным зерном. Данное явление напоминает собой микроизвержение одного вещества в другое и продолжается до тех пор, пока в этой системе не произойдет стабилизация (выравнивание) температурных полей. Таким образом, можно предположить, что при регенерации асфальтобетона чрезвычайно большую роль в смесеобразовании играют теплоэнергетические процессы, однако для количественной оценки этих явлений необходимы специальные теоретические и экспериментальные исследования.

Полученные результаты дают основание утверждать, что при достаточно эффективном перемешивании смеси миграция старого вяжущего удовлетворена и распределение «омолаживающего» вещества в массе равномерно по объему. Для регенерированного асфальтобетона с правильно подобранным составом и рациональной технологией характерно отсутствие двойного обволакивания вяжущим веществом зерен минерального материала.

Особого внимания при рассмотрении вопросов структурообразования регенерированных асфальтобетонов заслуживает изучение строения пленки битумного вяжущего на минеральных зернах. Как известно, существуют механическая связь вяжущего с породой, а также физическая (ван-дер-ваальсовая) и химическая сорбционные связи. Считается, что химически связанные с минеральными породами битумные вещества в отличие от свободных имеют более высокую интенсивность флуоресценции. Кроме того, для хемосорбционного взаимодействия характерно лучшее, более равномерное обволакивание минеральных зерен вяжущим, благодаря чему граница минералов имеет более резкие очертания.

Проведенные исследования строения пленки вяжущего на минеральном материале показывают, что при правильном подборе состава и технологии регенерации на основе вторичного сырья можно получить асфальтобетон, который по своим структурным признакам близок такому же материалу, полученному по традиционной технологии из новых минеральных и вяжущих компонентов. И наоборот, в случае простой переработки старого асфальтобетона, т.е. процесса, не предусматривающего корректировку компонентного состава вяжущего и зернового состава минеральной части, получаемый асфальтобетон имеет прямо противоположные внешние признаки структуры, достаточно объективно предсказывающие неблагоприятные физико-механические свойства данного продукта.

Структура таких материалов в первую очередь отличается неудовлетворительным смачиванием битумом минеральных материалов, особенно на новых поверхностях, образованных в результате естественной дезинтеграции или искусственного дробления асфальтобетона. Величина остаточной пористости (более 12 % по площади образца), рыхлое состояние битумных пленок вблизи границы с минеральными зёрнами, участки с отслоением адсорбционных слоев дают полное основание считать такой асфальтобетон недолговечным в условиях эксплуатации дорожных покрытий.

Аналогичная картина наблюдается в асфальтобетонах, полученных путем регенерации в водной среде или подверженных агрессивному воздействию высокотемпературных газов сушильного барабана.

В старом и регенерированном асфальтобетонах гораздо чаще, чем в

свежеприготовленном материале, имеют место явления естественного фракционирования битума на частицах некоторых минеральных заполнителей, в основном карбонатных пород.

Как показывают исследования В.Ф. Полойко, зона фракционирования может распространяться в глубину минеральных зерен на 3...8 мкм. Это проникание отдельных компонентов битума в минеральный материал показывает, что в ходе эксплуатации дороги в материале ее покрытия происходит активация минеральных пород. То есть старый асфальтобетон может рассматриваться как система с достаточной поверхностной активностью дисперсной фазы, что должно учитываться при осуществлении регенерационных процессов.

Важнейшим фактором, определяющим структурообразование в регенерированном асфальтобетоне, является температурный режим технологического процесса регенерации.

При горячей регенерации асфальтобетона температурные поля и теплопередача носят нестационарный характер, согласно которому температура в данном материале изменяется не только в пространстве, но и с течением времени:

$$t = f(x, y, z, x). \quad (2.19)$$

Известно [119], что нестационарный тепловой процесс всегда связан с изменением энтальпии тела (аккумулированной теплоты) и ею обуславливается. Так как скорость изменения энтальпии прямо пропорциональна способности материала проводить теплоту (т.е. коэффициенту теплопроводности X) и обратно пропорциональна его аккумулирующей способности (т.е. объемной теплоемкости $c\rho$, где ρ — плотность материала), то в целом скорость теплового процесса при нестационарном режиме определяется значением коэффициента температуропроводности который в данном случае имеет такое же важное значение, как и коэффициент теплопроводности при стационарном режиме распределения теплоты, и отражает скорость

$$\alpha = \frac{X}{c\rho}. \quad (2.20)$$

изменения температуры и генезиса. Характер изменения температур в агломератах асфальтобетона, внесенных в среду с более высокой температурой, в наиболее общем виде показан на рис. 2.20.

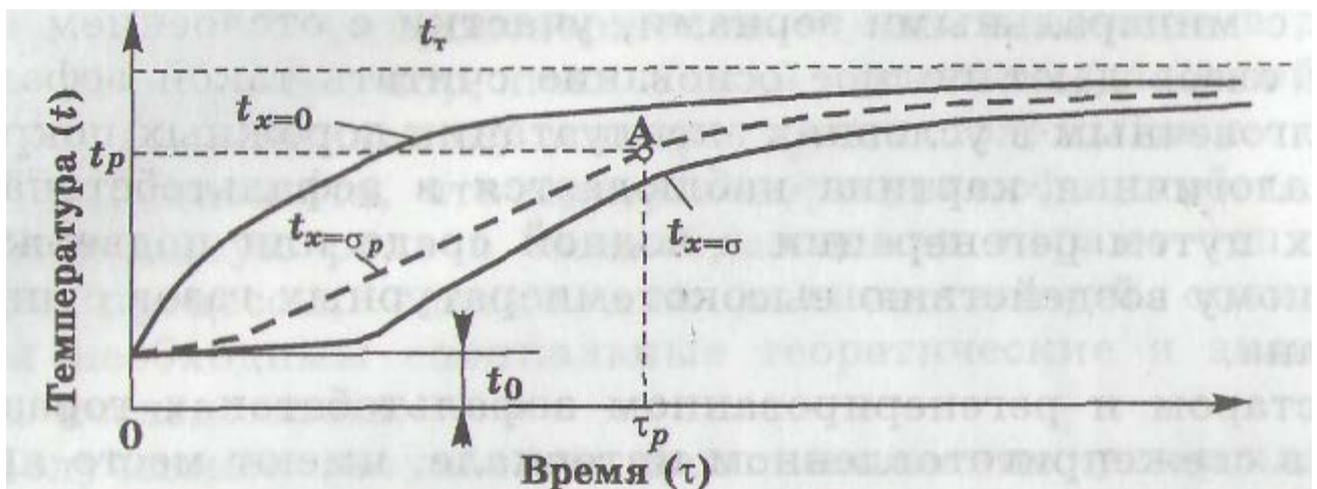


Рис. 2.20. Изменение температур в агломератах асфальтобетона при его горячей регенерации:

- t_τ — температура теплоносителя;
- $t_{x=0}$ — температура на поверхности агломератов;
- $t_{x=\sigma_p}$ — температура внутри материала на расчетной глубине σ_p ;
- $t_{x=\sigma}$ — температура в центре агломератов;
- t_0 и t_p — начальная и конечная температуры материалов;
- τ_p — длительность процесса регенерации

Сразу же между средой и материалом возникает процесс теплообмена, и асфальтобетон начинает прогреваться. Сначала нагреваются поверхностные слои, но постепенный процесс прогрева распространяется и в глубь тела. По истечении некоторого времени (теоретически бесконечно большого) температура всех частей тела становится равной температуре окружающей среды, т.е. наступает тепловое равновесие. В случае, когда интенсивность подвода теплоты не постоянна во времени, процесс нагрева изображается гораздо сложнее.

Зависимость изменения температуры и количества переданной теплоты во времени для любой точки тела при нестационарной теплопроводности выводится из дифференциального уравнения теплопроводности (уравнение Фурье — Кирхгофа)

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\lambda}{c_p \rho} \left(\frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{d^2 t}{dy^2} + \frac{d^2 t}{dz^2} \right) = \alpha \nabla^2 t, \quad (2.21)$$

где ∇^2 — оператор Лапласа.

Аналитическое решение уравнения теплопроводности зависит от начальных и граничных (краевых) условий, т.е. необходимо знать распределение температуры внутри тела в начальный момент времени (начальное условие), геометрическую форму тела и закон теплового взаимодействия между окружающей средой и поверхностью (граничное условие) [120].

Перед началом регенерации температура в асфальтобетонных агломератах распределена равномерно, т.е.

$$t(x, y, z, \tau = 0) = t_0 = \text{const.} \quad (2.22)$$

По геометрическим параметрам регенерируемый асфальтобетон может рассматриваться как тела простой формы: шар, если нагреву подвергается дробленый асфальтобетонный лом, и неограниченная пластина, если осуществляется разогрев материала в виде плоских кусков, у которых толщина значительно меньше ширины и высоты.

При регенерации асфальтобетона в заводских условиях чаще всего используется среда движущегося потока газообразного или жидкого теплоносителя постоянной интенсивности, характеризуемой коэффициентом теплоотдачи a . В этом случае теплообмен осуществляется посредством конвекции и интенсивность передачи тепла определяется критерием Бю-Вей. Такое граничное условие, называемое условием III рода, в то же время представляет собой тепловой баланс потоков тепла, передаваемых первоначально конвекцией, а затем теплопроводностью.

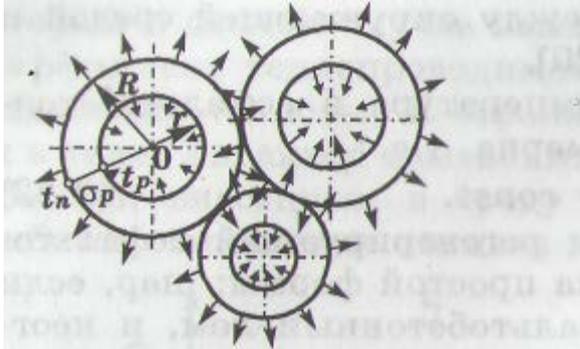
$$t(x, y, z, \tau = 0) = t_0 = \text{const.} \quad (2.22)$$

По геометрическим параметрам регенерируемый асфальтобетон может рассматриваться как тела простой формы: шар, если нагреву подвергается дробленый асфальтобетонный лом, и неограниченная пластина, если осуществляется разогрев материала в виде плоских кусков, у которых толщина значительно меньше ширины и высоты.

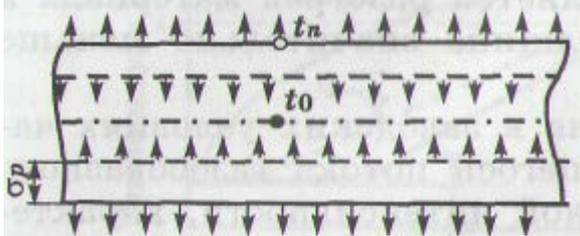
При регенерации асфальтобетона в заводских условиях чаще всего используется среда движущегося потока газообразного или жидкого теплоносителя постоянной интенсивности, характеризуемой коэффициентом теплоотдачи a . В этом случае теплообмен осуществляется посредством конвекции и интенсивность передачи тепла определяется критерием Бю-Вей. Такое граничное условие, называемое условием III рода, в то же время представляет собой тепловой баланс потоков тепла, передаваемых первоначально конвекцией, а затем теплопроводностью.

Общий коэффициент теплоотдачи в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{град}}$ $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}} \right)$

внутри слоя материала, согласно [121], вычисляется из



условия (формула Ньютона — Рихмана)



$$\overline{F_M}$$

[123]

где $\langle \Theta_M \rangle$ — количество тепла, полученное материалом в единицу времени, ккал/ч; t_T — температура теплоносителя (газов), град; t_M — температура материала, град; F_w — открытая поверхность материала, м².
С учетом того что

Рис. 2.21
 чет. $Q_M = c(t_M - t_0)m$,
 фальтобетонных агрегатов

в среде теплоносителя в зави-

где
 б —
$$\alpha = \frac{c(t_M - t_0)m}{(t_T - t_M)F_M} \quad (2.25)$$

формула (2.23) примет вид

где c — удельная теплоемкость асфальтобетона (в среднем $c = 0,2$ ккал/кгград); mn — количество материала, регенерируемого в единицу времени, кг/ч.

Таким образом, очевидно, что значения α , ограничиваемые в основном величинами производительности и удельной поверхности разогреваемого сырья, на практике находятся в пределах от 20 до 100 Вт/м²град.

Для расчета температурного режима регенерации асфальтового бетона следует учитывать и то, что частицы материала не обязательно должны находиться в потоке теплоносителя, пока в их центре температура достигнет требуемой величины. Это можно объяснить с помощью рис. 2.21.

Суть вышесказанного состоит в том, что поверхностные слои агрегатных частиц за счет близости к среде теплоносителя накапливают больше энергии, чем внутри зоны материала. После прекращения действия теплового потока избыток этой энергии как раз и передается внутрь асфальтобетонных агрегатов либо соседним частицам, от которых, в свою очередь, исходит такое же тепловое излучение. Если допустить, что теплоемкость частиц однородна и постоянна, то для шара величина a_p , показывающая глубину, на которой находится «равновесная» температура, определится из уравнения

$$\frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{2} = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(R - \sigma_P)^3,$$

$$\sigma_P = R - \frac{R}{\sqrt[3]{2}}.$$

Для кусков асфальтобетона, представляющих по форме неограниченную пластину, $dp = -$.

Вследствие того что математическое решение задач нестационарной теплопередачи является достаточно сложным, на практике пользуются известными зависимостями параметров температурных полей от критериев Био:

$$Щ = \wedge \quad (2.28)$$

и Фурье (критерий гомохронности, определяющий темп перестройки температурного поля по толщине твердого тела):

$$F_0 = \frac{\alpha\tau}{\sigma^2} \quad (2.29)$$



Рис. 2.22. Влияние крупности агрегатных частиц на длительность разогрева до температуры $t=140$ °C при нестационарном режиме теплопередачи шара (цифры на кривых — температура теплоносителя в °C)

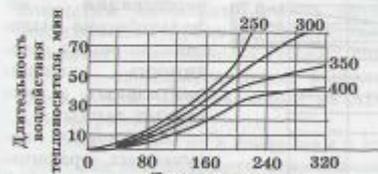


Рис. 2.23. Влияние толщины кусков регенерируемого до 140 °C асфальтобетона на длительность температурного воздействия при нестационарном режиме теплопередачи неограниченной пластины (цифры на кривых — температура теплоносителя в °C)

на основании данных и техники зования ские морегенерации зерен того (рис. 2.22) толщины бетонного ЭТИ рассчитывать важные параметры регенерации асфальтобетона и выбрать минимальную термическую нагрузку на битумоминеральный конгломерат. Для получения регенерированных битумоминеральных материалов с заданными свойствами помимо оптимизации их состава необходимо создать оптимальные условия приготовления. Наряду с температурным режимом к таким условиям относится режим смесеобразования, перемешивания смесей на основе асфальтобетонного лома равным образом, как и на основе любых битумосодержащих пород [96], описывается математической моделью

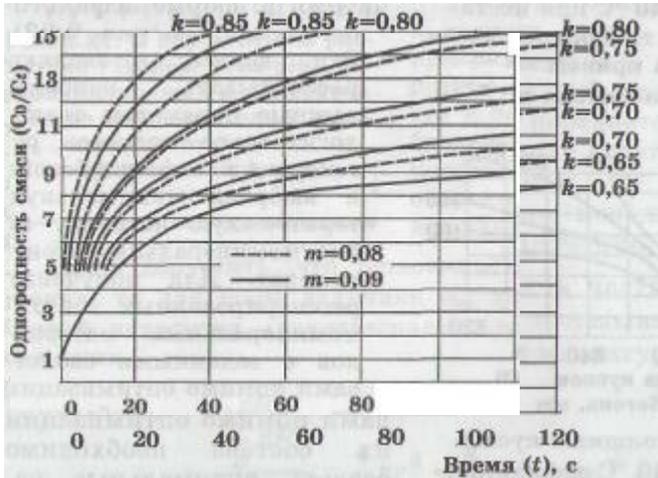
$$\lg C_t = \lg C_0 - k t^m, \quad (2.30)$$

где C_t — показатель однородности (качества) смеси в конце перемешивания, т.е. через время t ; C_0 — то же, в начальный период перемешивания; k — параметр, характеризующий скорость перемешивания (зависит от конструкции и режима работы смесителя, условий перемешивания и свойств исходных материалов); m — параметр, характеризующий изменение скорости процесса перемешивания (зависит от изменения размера кусков породы в процессе перемешивания, их механической прочности и условий перемешивания).

Однородность смеси может характеризоваться некоторыми

показателями свойств образцов и т.д. Вместо величин C_t и C_0 , в частности, могут быть использованы значения среднего размера агрегатов породы до и после процесса перемешивания.

На рис. 2.24 в прямоугольных координатах построены семейства кривых, представляющие зависимости C_0/C_t от времени t приготовления битумно-минеральной смеси с помощью лопастных смесительных установок [41]. Значения коэффициентов k и m приняты на основе результатов исследований, выполненных в Союздорнии [123].

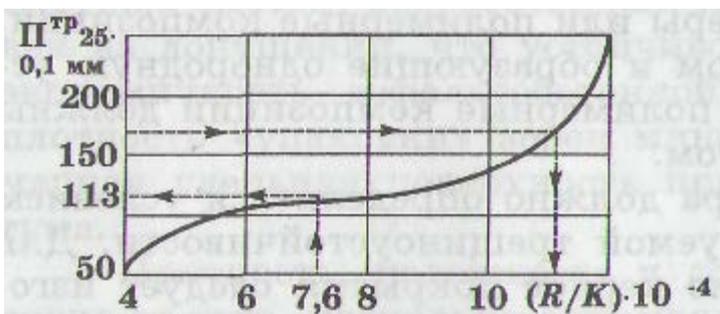


В ходе многочисленных экспериментов по отработке технологии регенерации асфальтобетона выявлена хорошая сходимость экспериментальных и расчетных данных. С помощью полученных графических зависимостей можно проектировать технологические процессы в целом, добиваясь по возможности одинакового времени, затрачиваемого на нагрев материала и перемешивание смеси, что, в свою очередь, достигается интенсификацией технологических режимов и совершенствованием конструктивного оформления смесительного оборудования.

Результатом оптимизации процессов смешения, заключающейся в достижении требуемой степени однородности регенерируемой смеси в наиболее короткое время и с наименьшими энергетическими затратами, являются стабильные физико-механические и эксплуатационные показатели конечного продукта.

2.3.2. Обеспечение требуемой трещиностойкости

С материаловедческой точки зрения трещиностойкость покрытия в решающей степени зависит от вязкости битума, которую он будет иметь после завершения технологического процесса устройства покрытия, т.е. после окончания его уплотнения и охлаждения до температуры воздуха.



Требуемую в покрытии вязкость битума следует назначать в зависимости от требуемого значения трещиностойкости для конкретного региона, которая определяется по формуле (2.1). На рис. 2.25 приведен график зависимости требуемой стандартной

вязкости (пенетрации) битума (эту пенетрацию битум должен иметь в дорожном покрытии) от требуемых значений показателя трещиностойкости.

Для получения требуемого значения пенетрации битума в покрытии необходимо учесть интенсивность его старения в технологическом процессе устройства покрытия. При этом следует учитывать два технологических варианта:

— терморегенерация выполняется без введения в старую смесь новой, изготавливаемой на АБЗ и транспортируемой к месту работы ремиксера;

— то же, но с введением в старую смесь новой.

Оба эти варианта отличаются друг от друга продолжительностью битума в тонкой пленке при высоких температурах, в зависимости от которой пластифицировать битум необходимо до значений пенетрации, указанной в табл. 2.7.

Продолжительность технологического процесса в первом варианте определяется промежутком времени от момента разогрева покрытия до температуры 100 °С до момента окончания уплотнения, который может быть принят в среднем равным одному часу. Во втором варианте продолжительность технологического процесса определяется промежутком времени от момента объединения битума с каменным материалом на АБЗ, где изготавливается асфальтобетонная смесь, до момента окончания уплотнения ее в покрытии.

Таблица 2.7

Рекомендуемые значения начальной пенетрации битума

Требуемая из дорожно-климатических	Требуемая пенетрация, ЦС 0,1 мм, при продолжительности				
	1	1,5	2,0	2,5	3,0
БНД 60/90	90-95	95-100	100-	105-	110-
БНД 90/130	120-	125-	105	110	115
	125	130	130-	135-	145-

Для пластификации битума рекомендуется использовать высокомолекулярные органические продукты нефтяного происхождения (жидкие битумы, мазуты, гудроны, экстракты селективной очистки масел) и полимеры или полимерные композиции, легко совмещающиеся с битумом и образующие однородную устойчивую структуру. При этом полимерные композиции должны обладать разжижающим эффектом.

Количество пластификатора должно определяться условием получения асфальтобетона требуемой трещиностойкости. Для определения этого количества из кернов

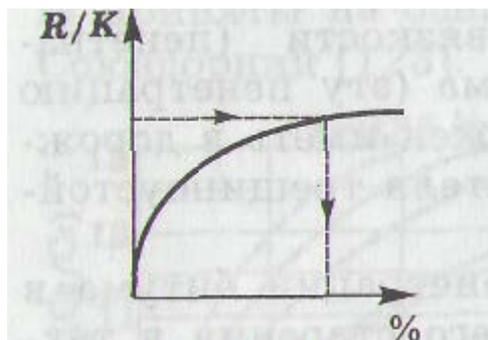


Рис. 2.26. Зависимость R/K от количества пластификатора

покрытия следует изготовить несколько (минимум три) партий смеси с различным содержанием пластификатора, изготовить из этих смесей стандартные образцы и на них определить показатель трещиностойкости R/K. По результатам испытаний строят график (рис. 2.25), показывающий зависимость R/K от количества пластификатора.

По данным табл. 2.7 назначается требуемая пенетрация битума, по которой (рис. 2.26) определяется требуемое количество пластификатора в

процентах от массы старой асфальтобетонной смеси.

2.3.3. Обеспечение требуемой сдвигоустойчивости

Обеспечение требуемой сдвигоустойчивости регенерируемого асфальтобетона должно рассматриваться в совокупности с обеспечением требуемой трещиностойкости. Это означает, что после пластификации и определения трещиностойкости асфальтобетона необходимо оценить его сдвигоустойчивость, которая должна обеспечиваться за счет создания каркасной структуры асфальтобетона, особенно если старый асфальтобетон имеет слабую скелетную структуру.

Это регулируется подбором гранулометрического состава регенерированной асфальтобетонной смеси.

В литературе по этому поводу высказывается мысль, что так как физико-механические показатели регенерированных асфальтобетонных смесей и их состав должны отвечать требованиям национальных стандартов, то при проектировании их состава следует соблюдать принятую процедуру проектирования зернового состава, за исключением вида и количества

нового битума и регенерирующих добавок.

Систематизация методик проектирования состава асфальтобетона наиболее удачно сделана Ю.В. Соколовым [78], который по степени использования расчетного аппарата подразделяет все методики на расчетные, расчетно-экспериментальные, экспериментально-расчетные и экспериментальные.

В настоящее время, как правило, используется метод проектирования состава асфальтобетона по предельным кривым плотных смесей, разработанный Н.Н. Ивановым [80]. Метод основан на допущении, что устойчивость к внешним воздействиям и экономичность асфальтобетонной смеси тем выше, чем выше плотность «упаковки» зерен минеральной части и ниже ее суммарная удельная поверхность при оптимальном содержании битума.

Прочность, надежность и долговечность асфальтобетона зависит от того, насколько оптимальным будет гранулометрический состав минеральной части бетона, определяющий прочность скелета.

Согласно требованиям АASHTO T.302 смесь Remix класса 1 должна иметь гранулометрический состав в пределах, указанных в табл. 2.8.

Корректировка гранулометрического состава Гранулометрический состав
Таблица 2.8

минеральной части ис- смесей Remix 1-го класса
ходного материала осуществляется при даче нового каменного материала.

Точное соблюдение требуемого состава минеральной части гарантируется при фракционном дозировании исходных

Сита, мм	Полные	
	min	max
15,0	00,0	100,0
10,0	77,0	100,0
5,0	60,0	82,0
2,5	42,0	66,0
1,25	28,0	51,0
0,63	18,0	40,0
0,315	10,0	33,0
0,15	6,0	27,0
0,075	4,0	16,0
<0,075	3,0	7,0

компонентов. Практический опыт показывает, что щебень карьера «Микашевичи» (Республика Беларусь) фракций 5/20 и 5/10 (табл. 2.9) вполне удовлетворяет требованиям по усилению скелета асфальтобетона при регенерации.

Целесообразно разработку рецепта начинать с варианта, предусматривающего максимальное использование материала старого покрытия — 80 %, тогда необходимо осуществлять задачу 20 % нового материала. Оптимальный вариант, если корректировка гранулометрической кривой достигается добавкой одного вида материала. Возможен случай, когда необходимо использовать смесь двух материалов, например щебня фракции 5/20 и щебня фракции 5/10, причем пропорциональное соотношение этих материалов может быть произвольным в пределах общей суммы 20 %: 5 и 10; 10 и 10; 10 и 5; 3 и 17 и т.д. Если в исходном материале покрытия наблюдается недостаточное содержание минерального порошка (менее 3 % материала мельче 0,075 мм), для корректировки гранулометрической кривой рекомендуется использовать продукты отопим фрикции 0/5 мм или природные пески аналогичного гранулометрического состава. Однако с технологической точки зрения использование отсева, имеющего большее количество пылеватых частиц, нецелесообразно: пылеватые частицы образуют корку, препятствующую прогреву Щебня, увеличивается энергоёмкость процесса; кроме того, пылеватые частицы имеют большую удельную поверхность, что может потребовать увеличения расхода битума, что также нежелательно.

Таблица 2.9

Примерные рассевы материалов, рекомендуемых для приготовления смесей Remix 1-го класса

Сита, мм	Частные остатки на ситах, %		
	щебень 5/20	щебень 5/10	отсев 0/5
20,0	2,5	0,0	0,0
15,0	29,3	0,0	0,0
10,0	40,1	4,2	0,4
5,0	24,8	58,4	4,8
2,5	3,3	35,2	26,4
1,25	0,0	2,2	9,4

0,63	0,0	0,0	16,2
0,315	0,0	0,0	16,0
0,14	0,0	0,0	12,5
0,071	0,0	0,0	4,3
< 0,071	0,0	0,0	10,0

Следует отметить, что корректировку гранулометрического состава с использованием смеси из трех материалов производить не рекомендуется из-за сложности технологической реализации такого рецепта.

Если не удастся добиться требуемого гранулометрического состава с использованием 80 % старого материала, рекомендуется попробовать вариант с использованием 67 % материала исходного асфальтобетона. Тогда нового материала следует добавлять 33 %. Придача смеси материалов также может осуществляться в любой рациональной пропорции в пределах 33 %.

Выход гранулометрической кривой новой проектируемой смеси за пределы требований на отдельных ситах не допускается более чем на 3 %. Если смесь не соответствует классу 1, то производится проектирование смеси Remix класса 2.

Результатом проектирования гранулометрического состава смеси Remix должно стать составление рецепта с указанием дозировки расхода минерального материала в кг на м² ремонтируемого покрытия.

Как показывают расчеты, при добавлении 20 % нового материала расход щебня составляет 23 кг/м², если добавляется 33 % нового каменного материала расход — 45 кг/м². В случае использования смеси минеральных материалов расход должен быть просчитан по фракциям в зависимости от использовавшейся пропорции.

Расчет рецептов автоматизирован, используется пакет программ для ПЭВМ.

2.3.4. Обеспечение коррозионной стойкости асфальтобетона в покрытии после его регенерации

Данное свойство должно достигаться путем обеспечения необходимой плотности асфальтобетона и количества битума в нем, а также от адгезии битума к поверхности каменного материала.

Для получения плотного асфальтобетона зерновой состав смеси и количество битума в ней необходимо подбирать в соответствии с СТБ 1033-96, ГОСТ 9128-97 и AASHTO T.302, контролируя при этом остаточную пористость и водонасыщение.

Для регенерированных смесей регламентируется теоретическая плотность смеси (в отечественной нормативной литературе соответствует понятию истинной плотности).

Показатель теоретической плотности используется для расчета пористой смеси $V_{пор} \%$: $= \gamma_{пор}$

по испытаниям кернов из покрытия.

Техническая спецификация AASHTO T.302 регламентирует контроль требуемого уплотнения по соотношению его с теоретической плотностью:

$$V_{пор} = \frac{\rho_{теор} - \rho_{факт}}{\rho_{теор}} 100, \quad (2.31)$$

$$K_{упл} = \frac{\rho_{факт}}{\rho_{теор}} 100 \%. \quad (2.32)$$

где $\rho_{теор}$ — теоретическая плотность смеси, г/см³, определенная с помощью пикнометра; $\rho_{факт}$ — фактическая плотность смеси,

В зависимости от среднего процента плотности (K_{vnl}) нормируется процент оплаты от единичной расценки (табл. 2.10).

Таблица 2.10 Нормируемый

процент оплаты

Средний процент	Процент оплаты от единичной расценки
1	2
100-98	97
Э7...92	100

Окончание табл. 2.10

1	2
91-90	97
8Э-88	95
87...86	90
	или не принимается

Плотность на месте каждого слоя должна составлять не менее 92 и не более 97 % от теоретической плотности.

Улучшения адгезии битума, особенно при использовании кислых каменных материалов, следует добиваться путем модификации битума поверхностно-активными веществами или полимерными композициями.

Следует учитывать особенности подбора состава асфальтобетонов, регенерируемых холодным способом. Исследования по оптимизации состава регенерированных холодным способом асфальтобетонов проводились В.А. Пахомовым [145]. По результатам исследований предложена математическая модель оптимизации состава регенерируемого холодным способом асфальтобетона.

В качестве управляемых элементов математической модели данной оптимизационной задачи В.А. Пахомов использовал массовые доли регенерирующих добавок, вводимых в измельченный материал покрытия, т. е. процентное соотношение битумной эмульсии (Э), портландцемента (Ц) и воды (В) от массовой доли регенерируемого материала.

В качестве фиксированных величин выступают значения исходных характеристик регенерируемого асфальтобетона:

γ_n — истинная плотность, г/см³;

γ_a — средняя плотность образцов из регенерируемого материала без введения регенерирующих добавок, г/см³;

B_0 — естественная влажность, %.

Все фиксированные значения должны определяться по результатам лабораторных испытаний регенерируемого асфальтобетона.

Согласно работам В.А. Пахомова, ограничения, накладываемые на управляемые переменные, — это предельные значения варьирования массовых долей вводимых регенерирующих добавок, которые составляют допустимое множество задачи оптимизации. Предельные значения массовых долей регенерирующих добавок назначаются в зависимости от качества регенерируемого материала. Количество воды, добавляемой в регенерируемый материал, определяется исходя из обеспечения необходимого ее количества для реакции гидротации цемента и хорошей уплотняе-мости регенерируемой смеси. Количество добавляемой воды должно определяться водоцементным отношением, которое должно быть не менее 0,5.

В качестве числового критерия оптимизации В.А. Пахомов использовал коэффициент сближения (раздвижки) гранул, который зависит от соотношения вводимых регенерирующих добавок, т. е. от управляемых переменных.

Таким образом, целевая функция выглядит следующим образом [145]:

$$K_c = C \cdot \mathcal{E}_n, C, V, \quad (2.33)$$

где K_c — коэффициент сближения (раздвижки) гранул, %; \mathcal{E}_n , C , V — массовые доли добавок битумной эмульсии, портландцемента и воды i -во состава регенерируемой смеси, %.

Для решения задачи оптимизации был выбран метод перебора, суть которого заключается в переборе значений управляемых переменных в пределах их допустимого множества с определенным шагом. Сочетание управляемых переменных, при котором будет достигнуто максимальное значение целевой функции (2.33), будет являться оптимальным.