

Л.М. ГОХМАН

**БИТУМЫ,
ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ,
АСФАЛЬТОБЕТОН,
ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОН**

Л.М. ГОХМАН

**БИТУМЫ,
ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ,
АСФАЛЬТОБЕТОН,
ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОН**

МОСКВА, 2008

УДК 625.7/.8:658.6
ББК 38.36
Г74

Г74 Гохман Л.М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон. Учебно-методическое пособие. - М.: ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2008. - 117 с, 30 табл., 36 рис.

В указанной книге изложены положения, которые автор изложил в лекциях, прочитанных в ГОУ ДПО ГАСИС.

В разделе **«Органические вяжущие материалы, состав, структура, свойства, обеспечение требуемого качества»** уделено внимание методам испытания органических вяжущих материалов, составу, структуре и свойствам битумов, полимерно-битумным вяжущим, выбору компонентов для получения последних. Сформулированы общие требования к органическим вяжущим материалам в части требуемого качества, исходя из климатических условий района эксплуатации покрытия и условий движения. Приведены требования ГОСТ Р 52056-2003 к полимерно-битумным вяжущим на основе блоксополимеров типа СБС в сопоставлении с требованиями ГОСТ 22245-90 к дорожным битумам, а также региональные требования к полимерно-битумным вяжущим.

В разделе **«Полимерасфальтобетон, свойства, методы испытания, обеспечение требуемого качества»** сопоставлены свойства полимерасфальтобетона со свойствами асфальтобетона, приведены и проанализированы показатели свойств в зависимости от вязкости вяжущих и типа смесей. Обоснованы дополнительные методы испытаний полимерасфальтобетона, позволяющие выявить его особенности и преимущества по сравнению с асфальтобетоном в части трещиностойкости, сдвигоустойчивости и долговременной прочности. Приведен комплекс требований к полимерасфальтобетонным смесям, заложенный в Проект ГОСТ Р «Смеси полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и полимерасфальтобетон. Технические условия».

ISBN 978-5-9506-0352-5

© Л.М. Гохман, 2008
© ООО ЭКЦ «ЭКОН», 2008
© ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
1. Органические вяжущие материалы, состав, структура, свойства, обеспечение требуемого качества (лекция 1).....	8
1.1. Введение.....	8
1.2. Битумы, состав, структура, свойства, методы испытания, стандартные и реологические.....	9
1.3. Компоненты битумов, свойства.....	12
1.4. Дисперсная структура битумов, реологические характеристики, стандартные показатели, принцип регламентирования качества битумов в ГОСТ 22245.....	24
1.5. Основы общей теории строения органических вяжущих материалов...	26
1.6. Требования к органическим вяжущим материалам для дорожных покрытий.....	41
1.7. Разработка органических вяжущих материалов требуемого качества...	44
1.8. Разработка способов приготовления и комплекса требований к ПБВ...	47
1.9. Технические требования к ПБВ на основе СБС.....	57
2. Полимерасфальтобетон, свойства, методы испытания, обеспечение требуемого качества (лекция 2).....	65
2.1. Введение	65
2.2. Сопоставление свойств полимерасфальтобетона и асфальтобетона.....	67
2.3. Влияние вязкости ПБВ и гранулометрического состава минеральной части смесей на свойства полимерасфальтобетона.....	79
2.4. Дополнительные методы испытания полимерасфальтобетона, позволяющие установить его преимущества перед асфальтобетоном...	85
2.4.1. Метод определения температуры трещиностойкости полимерасфальтобетона	86
2.4.2. Метод определения сдвигоустойчивости полимерасфальтобетона	94
2.4.3. Метод определения эластичности полимерасфальтобетона	99
2.5. Разработка технических требований к полимерасфальтобетону	109

ПРЕДИСЛОВИЕ

Битумы относятся к органическим вяжущим материалам и обладают уникальными свойствами, которые позволяют их использовать в качестве клея для асфальтобетонных смесей, а также герметиков и гидроизоляций для заполнения швов, трещин, устройства кровель.

Наряду с бесценной способностью переходить в текучее состояние при нагреве, что определяет великолепные технологические свойства материалов с применением битумов, они характеризуются рядом недостатков, обусловленных климатическими условиями, присущими России, а для дорожных битумов - также и специфическими условиями движения автомобилей - преобладанием грузовых автомобилей.

В связи с этим проводятся многолетние исследования, направленные на повышение эксплуатационных свойств дорожных битумов, в частности в лаборатории органических вяжущих материалов Союздорнии.

Результаты исследований, проведенные в период с 1958 г. по 1970 г. под руководством А.С. Колбановской, обобщены в книге:

А.С. Колбановская и В.В. Михайлов. Дорожные битумы. М., Транспорт, 1973, 261 стр., а, проведенные под руководством Л.М. Гохмана, в период с 1976 г. по 2002 г. и автором под руководством А.С. Колбановской в период с 1966 г. по 1973 г. - в книге:

Л.М. Гохман. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС. М., «Экон-Информ», 2003, 584 стр.

В указанных книгах подробно изложена часть сведений, которые автор попытался по возможности кратко и максимально просто изложить в предлагаемых двух лекциях, прочитанных в Государственной академии профессиональной переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов инвестиционной сферы (ГОУ ДПО ГАСИС).

В первой лекции, посвященной органическим вяжущим материалам, уделено внимание методам их испытания, как стандартным, так и нестандартным, составу, структуре и свойствам битумов, полимерно-битумным вяжущим, выбору компонентов для получения последних.

Приведены и обоснованы основные концепции общей теории строения органических вяжущих материалов, объясняющие поведение битумов, полимерно-битумных и других комплексных органических вяжущих материалов, позволяющие охарактеризовать разные типы дисперсных структур в них на общей основе.

Сформулированы общие требования к органическим вяжущим материалам в части требуемого качества исходя из климатических условий района эксплуатации покрытия и условий движения.

Приведены требования ГОСТ Р 52056-2003 к полимерно-битумным вяжущим на основе блоксополимеров типа СБС в сопоставлении с требованиями ГОСТ 22245-90 к дорожным битумам, а также региональные требования к полимерно-битумным вяжущим, изложенные в Проекте изменения № 1 к ГОСТ Р 52056.

Во второй лекции, посвященной полимерасфальтобетону, сопоставлены его свойства со свойствами асфальтобетона, приведены и проанализированы показатели свойств в зависимости от вязкости вяжущих и типа смесей.

Изложены результаты исследований, обосновывающие дополнительные методы испытания полимерасфальтобетона, позволяющие выявить его особенности и преимущества по сравнению с асфальтобетоном в части трещиностойкости, сдвигоустойчивости и долговременной прочности.

В завершение этой лекции приведен комплекс требований к полимерасфальтобетонным смесям, заложенный в Проект ГОСТ Р «Смеси полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и полимерасфальтобетон. Технические условия».

Выражаю свою благодарность сотрудникам лаборатории, совместно с которыми получены результаты исследований, приведенные в данной работе: кандидатам технических наук Е.М. Гурарий, А.Р. Давыдовой, инженерам К.И. Давыдовой, О.В. Гавриленко, З.И. Кореневой, Т.В. Прокофьевой, технику Л.Б. Болдыревой.

Зав. лабораторией органических
вяжущих материалов
ОАО «Союздорнии», к.т.н.

Л.М.Гохман

1. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, СОСТАВ, СТРУКТУРА, СВОЙСТВА, ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА (лекция 1)

1.1. Введение

Широко применяемые в настоящее время органические вяжущие материалы (ОВМ) для устройства дорожных, мостовых и аэродромных покрытий - битумы не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним как климатическими условиями, так и условиями эксплуатации покрытий.

Необходимо и целесообразно повышать качество ОВМ, но это будет эффективно только в том случае, если в процессе строительства или реконструкции дороги, а также и в случае ремонта покрытия будут обеспечены требуемые капитальность дорожной одежды, постоянно действующий водоотвод, будет устроена трещинопрерывающая прослойка, исключая отраженные трещины на покрытие, исключено пучение земляного полотна.

Наибольшая эффективность применения ОВМ требуемого высокого качества может быть достигнута в случае исключения из расчета конструкции дорожной одежды верхнего слоя покрытия толщиной не менее 6 см и при устройстве сразу за строительством покрытия поверхностной обработки со сроком службы не менее 5 лет, возобновляемой по истечении этого срока.

При этих условиях можно предположить, что срок службы покрытия возрастет с реальных 3-х лет до 15-18 лет, как это нормируется ВСН 41-88 для дорожной одежды в целом.

1.2. Битумы, состав, структура, свойства, методы испытания, стандартные и реологические

Битумы - дисперсные системы, структура которых относится к коагуляционным.

Битумы, по мнению А.С. Колбановской, состоят «из смеси разнообразных высокомолекулярных соединений нефти, объединенных по величине молекулярного веса и характеру растворимости в селективных растворителях в группы углеводородов, смол и асфальтенов».

Битумы могут быть как остаточными, так и окисленными. В России используются окисленные битумы.

Можно сказать, что битумы относятся к коллоидным дисперсиям. Сложность изучения свойств битумов и процессов структурообразования в них обусловлена тем, что в зависимости от температуры они могут быть отнесены к твердым телам (при отрицательных температурах) и к жидкостям (при положительных температурах) и являются непрозрачными даже в тонких пленках.

В связи с этим мы изучали битумы методом структурной реологии, разработанным академиком П.А. Ребиндером, используя при необходимости принцип моделирования.

Реология - наука о течении. На рис.1 приведены кривые, на основе которых получают реологические характеристики битумов и других упруго-вязко-пластичных материалов.

Как видно из схемы испытания, приведенной на рис. 1а, при простом сдвиге в условиях постоянного напряжения сдвига P получаем кривую ползучести.

На этой кривой со временем формируется участок с постоянной скоростью ползучести

$$V = \Delta \varepsilon / \Delta t.$$

Частное от деления скорости ползучести на толщину слоя битума (a), позволяет получить значение градиента скорости сдвига $\dot{\varepsilon} = V/a$.

При этом предполагается, что скорость сдвига изменяется прямо пропорционально толщине слоя.

При малых и весьма малых $\dot{\varepsilon}$, как правило, меньших, чем $1 \cdot 10^{-6} \text{ сек}^{-1}$, для битумов наблюдается область независимости значения реологических характеристик (η_i и G_{mi}) от напряжения сдвига P .

Таким образом, получаем инвариантные, т.е. независимые от условий деформирования, показатели, характеризующие истинную вязкость η_0 и упругость G_{m0} материала.

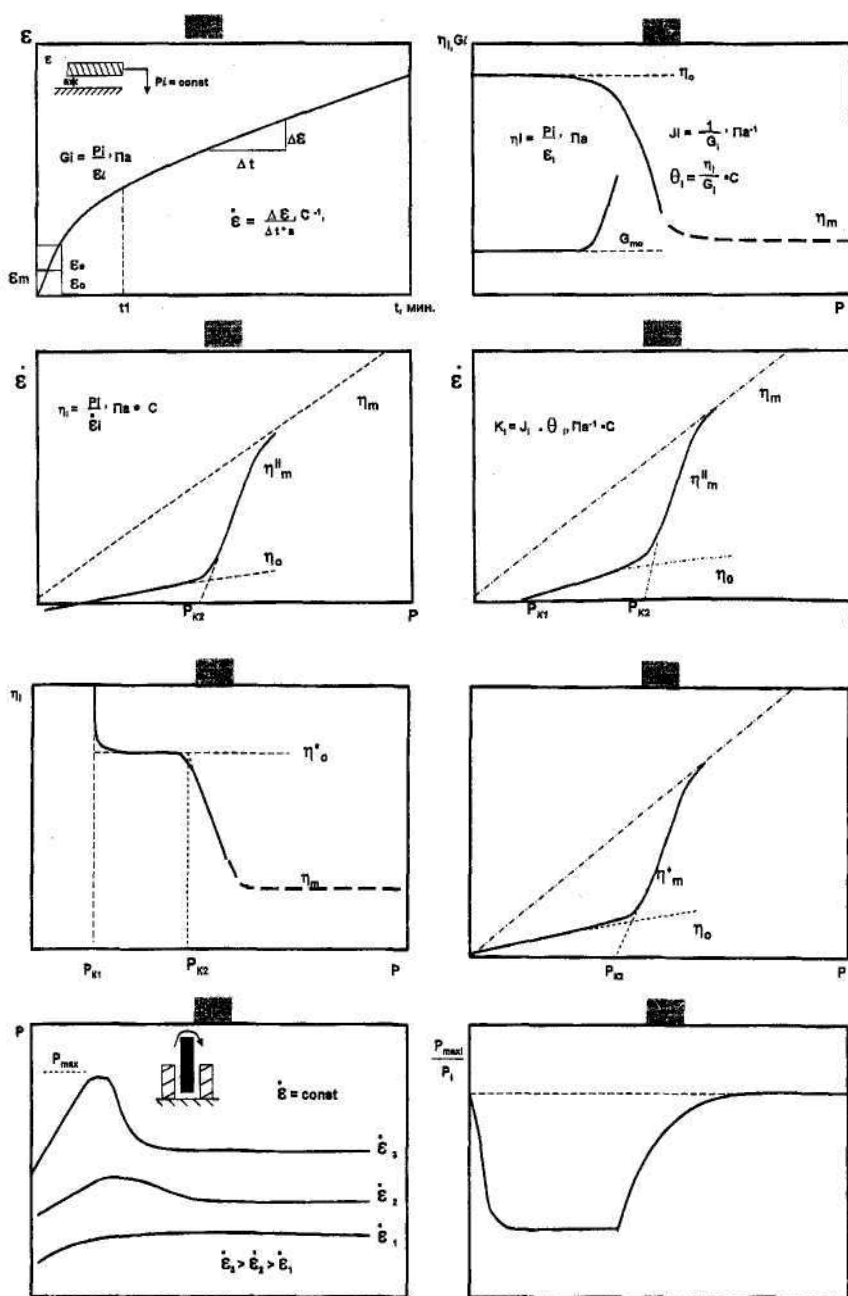


Рис.1. Реологические характеристики.

Эти параметры и их производные можно считать физически обоснованными именно потому, что они не зависят от условий деформирования, в то время как η_i и G_{mi} - условные характеристики, как и их производные, и могут быть использованы только для сопоставления материалов при одинаковых режимах деформирования.

Стандартные показатели, принятые для регламентирования качества битумов в ГОСТ 22245, также являются условными реологическими характеристиками.

К инвариантным реологическим характеристикам относятся:

наибольшая ньютоновская вязкость η_0 , инвариантные модули упругости:

равновесный G_m , эластический G_{me} , условно-мгновенный

G_{mo} , податливость J_m , период релаксации напряжений θ_{mo} ,

показатель эластичности K_0 , статический (шведовский) предел текучести R_{K1} ,

динамический (бингамовский) предел текучести R_{K2}

наименьшая пластическая вязкость η_m^* или η_m'' наименьшая ньютоновская вязкость

η_m , степень разрушения структуры $\Psi = \frac{\eta_o}{\eta_m^*}$.

К неинвариантным реологическим характеристикам относятся эффективные вязкость η_i и модуль G_{mi} , и все их производные, а также показатели свойств битумов:

пенетрация, температура размягчения по методу «Кольцо и Шар», дуктильность, температура хрупкости по Фраасу.

С помощью реологических характеристик можно не только оценить свойства материала, в частности, битумов и композиций на их основе - вязкость, прочность, упругость, эластичность, пластичность, трещиностойкость, но и исследовать процессы структурообразования, установить критические концентрации структурообразования и, как будет показано далее, рассчитать параметры образовавшейся дисперсной структуры.

1.3. Компоненты битумов, свойства

Методом адсорбционно-жидкостной хроматографии на адсорбенте - силикагеле марки АСК с использованием селективных растворителей мальтены битума можно разделить на шесть компонентов, предварительно выделив из битума асфальтены как вещества, не растворимые в нормальных алканах, в частности, в петролейном эфире.

Асфальтены, как видно из рис. 2, по данным Т.Е. Йена, представляют собой кристаллические структуры, пакеты из 5-6 слоев, состоящих из пластин с боковыми алифатическими цепочками и нафтеновыми кольцами, содержащими полярные функциональные группы с атомом кислорода.

Пластины представляют собой полициклические конденсированные ароматические структуры с включением «гетероциклов с серой и азотом».

Радиусы пластин составляют 8,5-15Å, расстояния между пластинами - 3,5-3,6Å.

Структура асфальтена приближается к структуре графита с межплоскостным расстоянием 3,34Å.

У асфальтенов это расстояние больше из-за включения гетероатомов, которые ведут к искривлению пластин, а также из-за алифатических цепочек и нафтеновых колец.

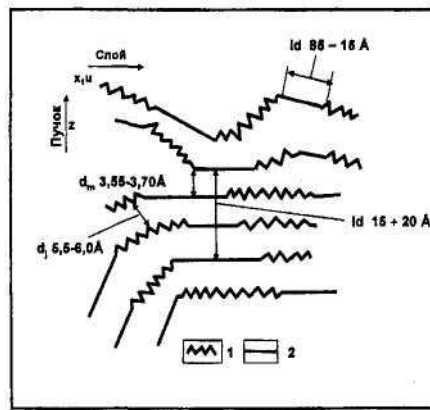


Рис.2. Разрез молекулы асфальтена:
1 - алкильные цепочки или свободные нафтеновые кольца;
2 - пластины конденсированных ароматических колец.

На рис. 3 приведена макроструктура асфальтовых веществ, в частности мицеллы или структуры смол, содержащих меньше пластин в пакете, чем асфальтены.

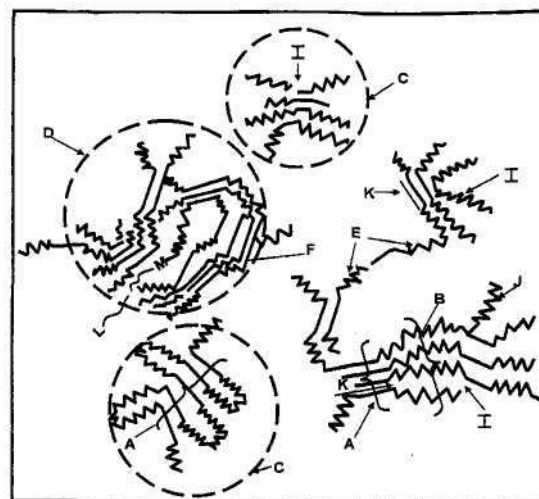


Рис. 3. Макроструктура асфальтовых веществ:
А - кристаллит; В - пучок связей; С - частичка
Е - слабая связь; F - прорезь; К - нефтяной порфирин;
И - смола; У - единственный слой; Д - мицелла;
Л - часть молекулы, содержащая металл (М).

Мальтены делятся на шесть следующих фракций:

спиртобензольные (СБС), петролейнобензольные смолы (ПБС), полициклоароматические (ПЦА), бициклоароматические (БЦА), моноциклоароматические (МЦА), парафино-нафтеновые (ПН) углеводороды.

Адсорбционно-жидкостная хроматография позволяет накапливать компоненты мальтенов.

Физико-механические характеристики компонентов битума марки БНД 60/90 (инд. 1003), отражающие его основные эксплуатационные свойства, приведены в таблице 1.

Показатели физико-механических характеристик битума и его компонентов

Наименование компонентов битума и состав моделей	Содержание, % масс		Температуры, °С		Температурный интервал работоспособности ИР, °С
	компонентов	асфальтенов	размягчения Т _р	хрупкости Т _{хр}	
ПН	13,2		39,0	-60,0	99,0
МЦА	9,4		20,0	-50,0	70,0
БЦА	21,4		10,0	-30,0	40,0
ПЦА	2,7		10,5	-32,0	42,5
Масла (ПН + Ар)	46,7		21,7	-43,0	64,7
ПБС	16,9		37,0	+1,0	36,0
СБС	12,2		73,0	+21,5	51,5
Мальтены битума	75,8		21,7	-26,5	48,2
Битум		24,2	50,0	-15,0	65,0
Масла (ПН + Ар) и асфальтены		5	33,5	-32,5	66,0
То же		10	38,5	-41,5	80,0
То же		20	75,0	-38,5	113,5
То же		30	103,5	-26,5	130,0
То же		40	132,0	-22,0	154,0

Анализируя групповой состав битума и свойства компонентов, можно оценить, какие компоненты и в какой степени влияют на аналогичные свойства битума.

В первую очередь, надо отметить, что, несмотря на высокую теплостойкость - температуру размягчения (Т_р) спирто-бензольных смол, Т_р собственно мальтенов. является низкой, и только присутствие асфальтенов обеспечивает требуемую по стандарту Т_р битума - его теплостойкость.

При этом ухудшается трещиностойкость (Т_{хр}) битума по сравнению с мальтенами на 11,5 °С, теплостойкость повысилась на 28,3 °С, а температурный интервал работоспособности (ИР) увеличился на 16,8 °С.

Наиболее хрупким компонентом битума являются СБС (твердые смолы), а наиболее трещиностойкими - ПН, МЦА и масла в комплексе, которые и определяют трещиностойкость битума.

Очень интересным и важнейшим компонентом битума являются ПН, которые характеризуются наибольшим температурным интервалом работоспособности (ИР) и наилучшей трещиностойкостью, и именно этот компонент внес наибольший положительный вклад в показатель трещиностойкости мальтенов, а, следовательно, битума.

Кроме того, этот компонент внес самый значительный вклад в температурный интервал работоспособности мальтенов, а, следовательно, и битума.

В связи с этим углубление переработки нефти, связанное с уменьшением содержания ПН в сырье, приведет к значительному ухудшению качества битумов.

Расчет показателей температур размягчения (Т_р), хрупкости (Т_{хр}) и ИР, исходя из информации о групповом составе битума, мальтенов и фракции масел, показал, что фактические значения этих показателей для масел не отличаются от расчетных (таблица 2).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что между компонентами масел нет химических связей и наблюдается адитивность влияния каждого компонента на показатель смеси.

Другая картина наблюдается для мальтенов - фактические показатели оказываются заметно хуже расчетных:

Т_р - на 49,7%, Т_{хр} - на 14,8%, ИР - на 14,19%.

Этот факт можно объяснить тем, что часть смол растворяется в маслах, а часть об-

разует комплексы, в частности, СБС-комплексы, ПБС-комплексы.

Таблица 2.

Фактические и расчетные значения показателей свойств масел и мальтенов

Наименование образцов	Содержание компонентов, % в			Температура размягчения, °С			Температура хрупкости, °С			Температурный интервал работоспособности, °С		
	битуме	мальте- нах	маслах	T _p	доля T _p в маль- тенах	доля T _p в маслах	T _{хр}	доля T _{хр} в маль- тенах	доля T _{хр} в маслах	ИР	доля ИР в маль- тенах	доля ИР в маслах
ПН	13,2	17,4	28,24	39,0	6,80	11,01	-60,0	-10,44	-16,94	99,0	17,23	27,95
МЦА	9,4	12,4	20,12	20,0	2,48	4,02	-50,0	-6,20	-10,06	70,0	8,68	14,08
БЦА	21,4	28,2	45,80	10,0	2,82	4,58	-30,0	-8,46	-13,74	40,0	11,28	18,32
ПЦА	2,7	3,6	5,84	10,5	0,38	0,61	-32,0	-1,15	-1,87	42,5	1,53	2,48
Σ масел	46,7	61,6	100,0	21,7	13,36	20,22	-43,0	-26,49	-42,61	64,7	39,86	62,83
ПБС	16,9	22,3		37,0	8,25		+1,0	+0,22		36,0	8,03	
СБС	12,2	16,1		73,0	11,75		+21,5	+3,46		51,5	8,29	
Мальтены	75,8	100,0		21,7	32,48		-26,5	-22,57		48,20	55,04	
Отклонение от фактического значения, %					+49,7	-6,8		-14,8	-0,93		+14,19	-2,89

Это предположение подтверждается одинаковыми значениями T_p для мальтенов и масел, так как разрушение системы при повышении температуры происходит по гранично-смазочным прослойкам между частицами дисперсной фазы, а если пространственный коагуляционный каркас отсутствует, - то по среде.

Тот факт, что T_{xp} для мальтенов заметно хуже, чем для фракции масел, свидетельствует о том, что часть смол растворилась в маслах.

Следовательно, можно полагать в ПБС и СБС - комплексах зародышами этих коллоидных частиц являются собственно ПБС и СБС, которые адсорбировали часть масел и низкомолекулярные части смол.

Можно полагать, что раствор смол содержит больше ПБС, нежели СБС, так как температура хрупкости мальтенов ближе по значению к ПБС, чем к СБС.

Обращает на себя внимание тот факт, что ИР для масел тот же, как и для битума, и при этом T_p лучше, а T_{xp} хуже на одну и ту же величину - 28°C .

Можно полагать, что асфальтены образуют асфальтеновые комплексы, являясь их зародышами, адсорбированными на своей поверхности, наряду с маслами, и смолы.

Введение асфальтенов в масла приводит, как и в рассмотренном выше случае, к увеличению T_p и ИР и ухудшению T_{xp} .

В таблице 3 приведены реологические характеристики тех же компонентов, выделенных из битума, которые представлены в таблице 2.

Таблица 3.

Реологические характеристики компонентов

Наименование компонентов битума	Содержание %, масс	Наибольшая вязкость $\eta_0 \cdot 10^{-5}$, Па \cdot с	Равновесный модуль упругости $G_{mo} \cdot 10^{-2}$, Па	Период релаксации напряжений, $\theta_m \cdot 10^{-3}$, с	Коэффициент эластичности K_0 , с/Па	Вязкость условно-разрушенной структуры $\eta_m \cdot 10^{-3}$, Па \cdot с	Степень разрушения структуры ψ	Предел текучести по Бингаму R_{K2} , Па
ПН	13,2	2,5	55,0	0,05	0,01	1,00	250,0	17,2
МЦА	9,4	1,1	4,6	0,24	0,5	0,29	379,3	7,4
БЦА	21,4	6,4	0,35	18,3	522,4	0,5	1280,0	9,6
ПЦА	2,7	25,0	40,0	0,6	0,16	357,0	7,0	100,0
МЦА+БЦА+ПЦА	-	6,0	1,6	3,8	23,4	0,9	666,7	20,0
Масла (ПН+АР)	-	16,6	0,92	18,1	198,2	1,68	990,0	4,8
ПБС (31% ПБС ₁ +69% БС)	16,9	170,0	250,0	0,68	0,027	12000,0	1,40	4000,0
СБС	12,2	2450,0	12800,0	0,18	0,0001	186000,0	1,3	6400,0
Мальтены битума (инд. 1003)	-	1,86	0,6	3,1	51,7	1,21	154,0	6,3
Битум марки БНД 60/90 (инд.1003)	-	33,7	15,0	2,3	1,5	2500,0	1,4	250,0
ПБС ₁	-	1,26	0,25	5,04	201,0	39	3,2	4,8
БС	-	560	250	2,25	0,9	40000,0	1,4	300

Результаты испытания компонентов битума свидетельствуют о том, что парафино-нафтеновые углеводороды (ПН), моноциклоароматические (МЦА), бициклоароматические (БЦА), полициклоароматические углеводороды (ПЦА) являются сильно структурированными жидкообразными системами ярко выраженного неньютоновского типа.

Парафино-нафтеновые углеводороды наиболее жесткие (G_m), наименее эластичные (K) и работоспособные (θ_m) в отличие от компонентов фракции масел, характеризуются ярко выраженной пространственной структурой, обуславливающей достаточно высокие прочность (R_{K2}) и степень разрушения структуры (Ψ) этой системы, характеризующей тиксотропные свойства этого компонента. R_{K2} характеризует прочность контакта между молекулами компонента.

Высокую степень разрушения структуры ПН и высокую, по сравнению с МЦА и БЦА, прочность можно объяснить наличием кристаллической структуры парафинов, которые после воздействия напряжений, больших R_{K2} , ориентируются и играют роль шарниров, формируя плоскости скольжения.

Моноциклоароматические углеводороды - наименее вязкие и прочные из всех компонентов масел, однако они более эластичные и работоспособные, т.е. значение θ_m и K у них выше, чем у ПН.

Они характеризуются наличием ярко выраженной пространственной структуры, достаточно высокой степенью разрушения структуры (Ψ).

Процесс деформирования этой фракции заключается, по-видимому, в образовании плоскостей скольжения в результате ориентации молекул МЦА при напряжениях, превышающих R_{K2} .

Более низкий R_{K2} объясняется, возможно, меньшей силой взаимодействия между этими молекулами по сравнению с молекулами ПН, а более низкое значение η_m^* свидетельствует о меньшем сопротивлении сдвигу между плоскостями скольжения в этой фракции, очевидно, за счет большего расстояния между плоскостями скольжения.

Бициклоароматические углеводороды менее жесткие (G_m), наиболее работоспособные (θ_m), самые эластичные (K) из рассматриваемых компонентов масел.

Они характеризуются наиболее ярко выраженной пространственной структурой (Ψ), то есть самыми высокими тиксотропными свойствами.

Молекулы БЦА относятся к двуядерным конденсированным ароматическим системам, сопряженным с нафтеновыми циклами, так, что на одну усредненную молекулу БЦА приходится 2,5-3,5 ароматических и 1-3,5 нафтеновых цикла. БЦА составляют наибольшую часть ароматической группы масел в битуме.

Молекулы БЦА характеризуются большими размерами, чем МЦА, что, по-видимому, приводит к большей площади взаимодействия между молекулами, а следовательно, и приводит к более высоким η_0 и η_m , но при этом сила взаимодействия в контакте между молекулами отличается несущественно, о чем свидетельствует значение R_{K2} , которое незначительно больше, чем для МЦА.

При напряжениях, превышающих R_{K2} , сопротивление сдвигу БЦА, выражаемое через η_m , выше в 1,7 раза, чем для МЦА, а η_0 - в 5,8 раза.

По-видимому, в БЦА имеет место «рыхлая» структура с высокой степенью разрушения структуры, то есть с высокими тиксотропными свойствами.

Полициклоароматические углеводороды, наиболее вязкие и прочные, достаточно жесткие, неэластичные, характеризуются наименее ярко выраженной пространственной структурой из всех компонентов масел.

По-видимому, молекулы ПЦА довольно сильно взаимодействуют между собой, образуя плотную и наиболее прочную из всех компонентов масел систему.

Ароматические углеводороды представлены смесью МЦА, БЦА и ПЦА, выделенной непосредственно из битума. Эта смесь характеризуется вязкостью, практически рав-

ной вязкости БЦА. Однако она более жесткая и прочная и существенно менее эластичная.

Фракция масел, представленная 27% ПН; 21,5% МЦА; 47% БЦА и 5,5% ПЦА, в соответствии с групповым составом битума характеризуется ярко выраженной пространственной структурой, по вязкости и эластичности она ближе к БЦА, по жесткости - к МЦА, а по прочности - к БЦА.

Что касается компонентов фракции смол, то петролейно-бензолные смолы (ПБС) представляют собой твердообразные системы с высокой вязкостью, жесткостью, прочностью и вместе с тем являются неэластичными при невысокой степени структурированности.

Спирто-бензолные смолы (СБС) представляют собой твердообразные хрупкие системы с очень высокими прочностью, вязкостью, жесткостью.

В то же время они обладают крайне низкой эластичностью и невысокой тиксотропией, сопоставимой только с исходным битумом, являются практически хрупкими при комнатной температуре.

Мальтены, представляющие собой систему, состоящую из фракции масел и фракции смол, полученную после выделения асфальтенов из битума, представляют собой дисперсную систему с пространственной структурой, с вязкостью, близкой к вязкости ПН и ПБС, и прочностью, аналогичной прочности ПБС, степень структурированности их значительно ниже, чем ароматических углеводородов и масел.

Рассматривая свойства битума как системы, состоящей из мальтенов и асфальтенов, приходим к выводу о том, что асфальтены играют структурообразующую роль, то есть существенно повышают вязкость, жесткость, прочность битума по сравнению с мальтенами.

Наличие СБС в составе мальтенов обуславливает, скорее всего, образование на их основе частиц дисперсной фазы: СБС-комплексов.

Правда, природа этой фазы отличается от природы дисперсной фазы, представленной асфальтеновыми комплексами в битуме.

При этом структуру битума мы представляем следующим образом - дисперсионной средой служат масла и часть ПБС и СБС, не вошедших в асфальтеновые и СБС - комплексы.

Дисперсная фаза представлена асфальтеновыми комплексами, состоящими из асфальтенов, на лиофильных участках которых адсорбированы ароматические компоненты фракции масел и ПБС, а на лиофобных - СБС, при этом определенная часть ароматических углеводородов адсорбирована и поглощена асфальтенами.

1.4. Дисперсная структура битумов, реологические характеристики, стандартные показатели, принципы регламентирования качества битумов в ГОСТ 22245

В соответствии с классификацией, предложенной Адой Соломоновной Колбановской, дисперсная структура битумов может быть отнесена к трем типам.

Это можно проиллюстрировать с помощью кривой структурообразования, приведенной на рис. 4, позволяющей в зависимости от содержания асфальтенов по массе выделить три характерных участка.

Так А.С. Колбановская на основе многолетних исследований дисперсную структуру битумов, содержащих до 18% асфальтенов, отнесла ко II типу; от 21 до 23% асфальтенов - к III типу, а более 25% асфальтенов - к I типу.

Во всех случаях предложены для каждого типа соотношения и содержание других компонентов - масел и смол по массе.

Доказано, что оптимальными для применения в дорожном строительстве являются битумы III типа, так как они характеризуются достаточно прочным коагуляционным каркасом в отличие от битумов II типа, где он отсутствует, и достаточно устойчивы к старе-

нию, чего не скажешь о битумах I типа.

Эта позиция легла в основу регламентирования качества битумов именно III типа в ГОСТ 11954-66 на дорожные битумы марок БНД.

В таблице, представленной на рис. 4, видно, что это несложно сделать с помощью простых стандартных показателей, так как битумы III типа марок БНД явно отличаются более высокой трещиностойкостью (T_{xp}) и теплостойкостью (T_p) при той же пенетрации, по сравнению с битумами II типа, и большей устойчивостью к старению (большей растяжимостью при 25 °C - D_{25}), чем битумы I типа.

Что и было сделано. В то же время была достигнута договоренность с Миннефтехимпромом СССР, что битумы марок БН не будут вырабатываться через два года, как вяжущие более низкого качества, чем битумы марок БНД.

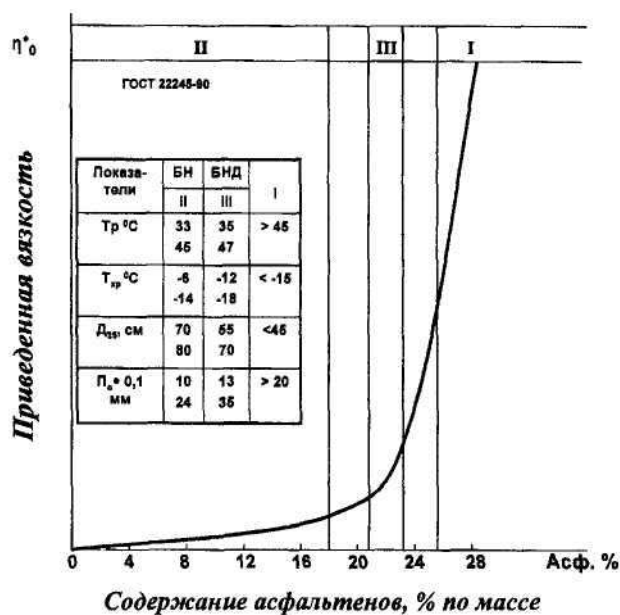


Рис.4. Концентрационная зависимость.

Однако это решение не было выполнено, как крайне невыгодное для нефтепереработки, и в 1976 г. был введен в действие ГОСТ 22245-76, куда вошли битумы марок БНД и марок БН, где для последних вначале не нормировались показатели при низких и отрицательных температурах.

С трудом удалось внести в ГОСТ требования по T_{xp} и Π_0 для битумов марок БН, чтобы проиллюстрировать потребителю их недостатки.

В настоящее время в ГОСТ 22245-90 приведены требования к битумам как марок БНД, так и марок БН. Тем не менее, в соответствии с распоряжением Росавтодора РФ на федеральных дорогах рекомендуется применять только битумы марок БНД.

В таблице 4 приведены реологические характеристики битумов разных типов. Как видно из приведенных данных, битумы III типа отличаются более высокими вязкостью, упругостью, эластичностью и тиксотропными свойствами.

Таблица 4.

Реологические характеристики вяжущих

Тип структуры битума	ДСТ, % по массе	$\eta_0^* \cdot 10^{-7}$, пуаз	$R_{K2} \cdot 10^{-2}$, дин/см ²	$G_{m0} \cdot 10^{-3}$, дин/см ²	$\theta_{m0} \cdot 10^{-3}$	ψ	$\frac{K \cdot 10^2}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}$, дин
----------------------	-----------------	---------------------------------	--	--	-----------------------------	--------	---

I	0	43	80	67	6	1	10
III	0	33,7	2,5	15	2,3	1,4	1,5
II	0	12,1	4,0	4,8	2,52	1,06	0,52

1.5. Основы общей теории строения органических вяжущих материалов

Мы рассматриваем битумы как частный случай органических вяжущих материалов.

В настоящее время широкое распространение получают полимерно-битумные и другие комплексные органические вяжущие на основе продуктов и остатков от переработки нефти и угля, асфальтитов, полимеров и других структурообразующих компонентов. Органические вяжущие материалы, по нашим представлениям, относятся к дисперсным системам.

Основываясь на этом представлении, и сделана попытка - найти общий подход к любым органическим вяжущим материалам, так как существующая теория строения битумов не позволяет прогнозировать их поведение при введении других наполнителей, кроме асфальтенов, и формировать критерии разработки новых комплексных многокомпонентных вяжущих (КОВ) с заданными свойствами.

В отличие от принятого в существующей теории строения битумов и используемого для их классификации критерия - массового соотношения компонентов, предлагается новый критерий, пригодный как для битумов, так и для других вяжущих - объем частиц дисперсной фазы C_v .

При этом ОВМ, а именно КОВ, рассматриваются как двухфазные системы, состоящие из дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Это позволяет полагать, что кривая структурообразования в координатах $\eta^* - C_v$, будет одина для любых органических вяжущих материалов, в том числе для битумов и КОВ.

Частица дисперсной фазы при этом рассматривается как собственно ее зародыш (для битумов, например, асфальтен), адсорбировавший часть дисперсионной среды и образовавший единый комплекс, который при тепловом движении и деформировании ведет себя как единое целое.

Соотношение объемов этого комплекса и его зародыша, названное коэффициентом объемности λ , позволяет выразить C_v , через C_m по следующей зависимости:

$$C_v = C_m \cdot \lambda \cdot \bar{d} \quad (1)$$

где \bar{d} - отношение плотности вяжущего к плотности зародыша частиц дисперсной фазы.

При этом допускается, что плотность частиц дисперсной фазы близка к плотности вяжущего;

C_m - масса наполнителя в системе (например, асфальтенов или полимера).

Основы общей теории строения битумов и КОВ, критерии разработки оптимальной структуры КОВ включают 5 следующих предпосылок-концепций:

1. Развитие представлений о дисперсной фазе вяжущих как о сложном комплексе, в частности, асфальтеновом комплексе в битумах.

2. Развитие представлений об объеме частиц дисперсной фазы вяжущих C_v как о едином критерии оценки типа дисперсной структуры и их классификации.

3. Развитие представлений о моно-, би- и полидисперсных зародышах частиц дисперсной фазы и полиэкстремальной кривой структурообразования, связанной с их нали-

чем.

4. Предложение характеризовать дисперсную структуру вяжущих комплексом количественных параметров, полученных реологическим методом.

5. Развитие представления о клеящей способности вяжущих и жидкой фазе в асфальтобетоне и других органобетонах.

Анализ данных, приведенных на рис.5, показывает, что характер кривых структурообразования независимо от природы наполнителя, который мы вводим в систему - асфальтены с разной моль-массой или полимер, - одинаков.

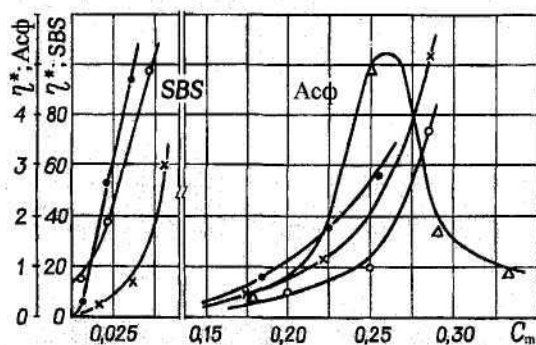


Рис. 5. Концентрационные зависимости приведенной наибольшей ньютоновской вязкости (η^*) вяжущих: SBS - блоксополимер типа СБС марки ДСТ 30-01 Асф - асфальтены, C_m - содержание Асф и SBS по массе, %.

Исходя из принятого нами подхода, можно объяснить, чем вызвано различие в массовом содержании наполнителя, при котором наблюдается аномальное изменение вязкости - критическая концентрация структурообразования.

Можно предположить, что эти закономерности объясняются общим для всех дисперсных систем законом структурообразования, который предполагает, что образование пространственной дисперсной структуры определяется объемом частиц дисперсной фазы в ней - константой, которую можно обосновать с помощью известных законов физики и механики.

При этом коэффициент объемности λ , характеризует толщину сольватной оболочки на частице дисперсной фазы.

Представление о частице дисперсной фазы как о сложном комплексе и формула (1), позволяющая определить объем этих частиц - первая концепция основ строения вяжущих.

На рис.6 приведена обобщенная кривая структурообразования в координатах η_0^* - C_v , на которой показана первая критическая концентрация структурообразования C_v^* , равная 0,487, по аналогии с концепцией о структуре простых жидкостей, как фазовый переход первого рода и рассчитанный по формуле, предложенной В. Вудом на основе известного значения плотности правильной плотнейшей упаковки твердых сфер $C_v^{\max} = 0,7405$.

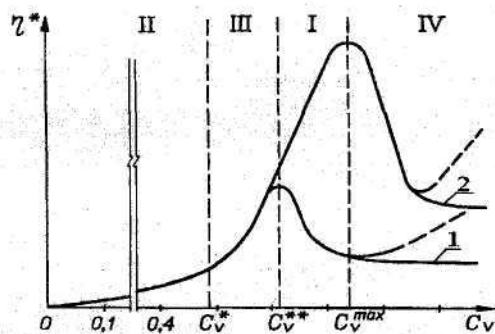


Рис. 6. Концентрационные зависимости приведенной наибольшей ньютоновской вязкости (η^*) вязких и других дисперсных систем - теоретические кривые структурообразования:

1 - до старения; 2 - после старения;

— твердообразные зародыши частиц дисперсной фазы;

- - - жидкообразные зародыши частиц дисперсной фазы;

II, III, I, IV - типы дисперсной структуры;

C_v - объем частиц дисперсной фазы в единице объема системы.

На этой же кривой приведена и вторая критическая концентрация C_v^{**} , свидетельствующая о достижении в системе наиболее вероятной плотнейшей упаковки твердых сфер, равная по Б.С. Радовскому 0,613.

Достижение C_v^* свидетельствует о появлении дисперсной структуры вязущего во всем объеме системы за счет появления взаимодействий ближнего порядка между частицами дисперсной фазы, когда расстояние между ними становится меньше молекулярного радиуса (меньше 1 нм).

C_v^{\max} свидетельствует о появлении фазовых контактов между частицами дисперсной фазы, что может произойти в результате старения вязущего, ведущего к потере им вязущих свойств.

Области, ограниченные C_v^* , C_v^{**} , C_v^{\max} , относятся соответственно ко II, III, I и IV типам дисперсных структур в дисперсных системах, в том числе и в органических вязущих материалах.

Представление о C_v , как об общем критерии оценки типов дисперсных структур, о C_v^* , C_v^{**} , C_v^{\max} для их классификации по типам структур - вторая концепция теоретических основ строения органических вязущих материалов.

Для доказательства того, что C_v является основным критерием оценки типа дисперсной структуры органических вязущих, в том числе битумов, провели многофакторный анализ влияния различных параметров зародыша частиц дисперсной фазы на комплекс реологических и физико-химических показателей свойств вязущих с помощью программы множественной линейной регрессии «Согге».

Для анализа воспользовались результатами исследований модельных битумов, содержащих 30% по массе асфальтенов различного качества, выполненных к.т.н. Е.М. Гурарий.

При этом свойства модельных битумов варьировали в очень широких пределах:

температура размягчения изменялась от 45 °С до 126 °С;

температура хрупкости - от минус 29 °С до минус 4°С, η_0 и R_{K2} изменялись более

чем в 100 раз, Ψ - более чем в 1000 раз.

В связи с этим полученный результат можно считать объективным и достоверным.

Исходили из того, что на свойства битумов может оказывать влияние не только объем частиц дисперсной фазы C_v , их размер - эффективный гидродинамический диаметр D_ϕ и коэффициент объемности λ , как факторы, характеризующие качество асфальтенового комплекса, которые были отнесены к третьей группе факторов, но и факторы, характеризующие собственно качество асфальтенов (первая группа факторов) и их способность к взаимодействию с дисперсионной средой (вторая группа факторов).

К первой группе отнесли:

плотность асфальтенов (d_3), их молекулярную массу (m), степень конденсированности (CJ), фактор ароматичности (f_a), содержание ароматических (R_a) и нафтеновых колец в молекуле (R_n).

Вторая группа состоит из следующих факторов:

содержание функциональных групп: карбонильных (K_p), сложноэфирных (C_3), длину алифатических цепочек (l), определяемых по соотношению CH_2/CH_3 , степень ароматичности (f_a) в первом приближении по соотношению C/H и условный показатель лиофильности L .

Доказано, что наибольшее влияние на свойства модельных битумов оказывает группа факторов (параметров), характеризующих асфальтеновый комплекс, по сравнению с параметрами, характеризующими способности взаимодействия асфальтенов с дисперсионной средой и собственно качество (химическую структуру) асфальтенов.

Ниже приведены значения показателей коэффициентов относительной эластичности, позволяющие установить, какие из факторов оказали наибольшее влияние на комплекс показателей реологических и физико-механических свойств модельных битумов.

Коэффициент относительной эластичности равен произведению коэффициента регрессии на отношение среднего арифметического значения данного фактора к среднему арифметическому значению данной характеристики.

Факторы	C_v	λ	d_3	C/H	C	f_a	D_ϕ	m	R_a	R_n	l	C_3	K_p	L
Коэффициент эластичности Э	587	572	422	165	151	87	82	51	39	28	19	2,9	2,5	1.5
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

В свою очередь, в третьей группе факторов наибольшее влияние на свойства битумов оказывает C_v , затем λ и D_ϕ .

Следовательно, из всех факторов, характеризующих качество асфальтенов и асфальтеновых комплексов, наибольшее влияние на свойства битумов оказывает C_v .

В то же время, на втором месте и очень близко за C_v следует λ , которая, несомненно, является важнейшей характеристикой асфальтенового комплекса.

Таким образом, во-первых, подтверждена концепция C_v как наиболее важного параметра дисперсной структуры вяжущих, характеризующего комплекс их свойств, а также правомерность выбора его в качестве единого критерия - классификационного признака.

Во-вторых, подтверждена правильность представления о частице дисперсной фазы битумов как об асфальтеновом комплексе, состоящем из зародыша - асфальтена, иммобилизовавшего и поглотившего часть дисперсионной среды.

При этом λ , характеризует объем дисперсионной среды, входящей в этот комплекс и связанной с ним неразрывно при тепловом движении и деформировании.

Судя по Э, параметр λ является важнейшим после C_v в части влияния на структуру и свойства вяжущих.

Значительно меньшее влияние, но вместе с тем весьма значительное, оказывает d_3 -

представитель 1 группы, характеризующий собственно качество асфальтенов.

Важно отметить, что все три рассматриваемых параметра входят в выражение (1) и подтверждают правильность интерпретации C_v как важнейшего критерия качества вяжущих, в частности битумов, и их структуры.

Как видно из результатов исследования процессов структурообразования, при введении в маальтены ПБС или полимера типа СБС наблюдаются полиэкстремальные зависимости вязкости (см. рис. 7 и 8).

То же самое наблюдается с другими показателями свойств при изменении содержания частиц дисперсной фазы в сырье для получения битумов, характеризующее их вязкостью (см. рис. 9 и 10).

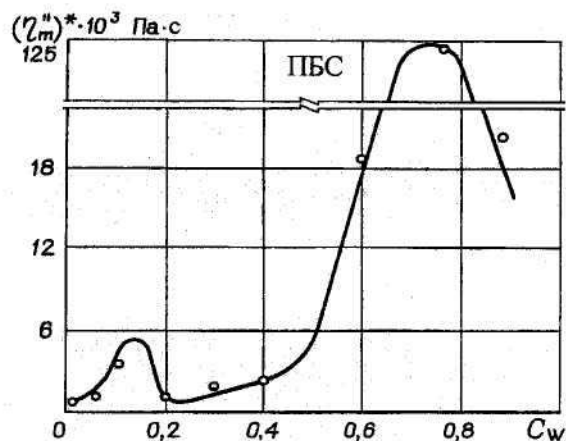


Рис. 7. Концентрационная зависимость приведенной наименьшей пластической вязкости (η_m^*) модельных битумов при введении петролейно-бензольных смол (ПБС).

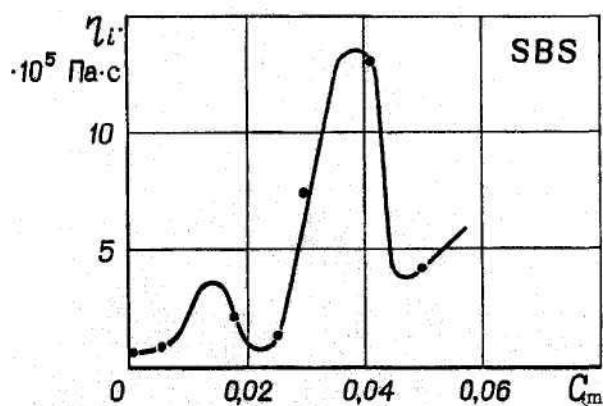


Рис. 8. Концентрационная зависимость эффективной вязкости (η_i) КОВ при введении блоксополимера типа СБС (SBS) в гудрон марки СБ 20/40:

η_i определена при 40°C и $\dot{\varepsilon} = 0,6 \text{ c}^{-1}$.

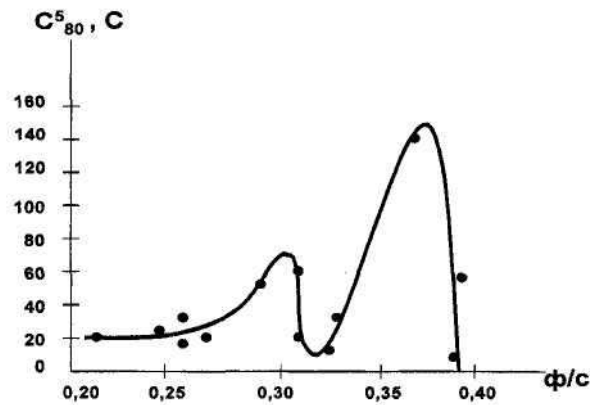


Рис. 9. Зависимость вязкости сырья от соотношения фаза/среда (φ/с) в нем.

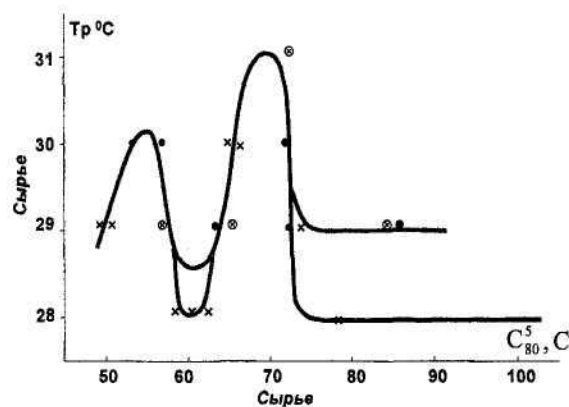


Рис. 10. Зависимость условной вязкости от температуры размягчения.

Удивительным является тот факт, что при определенных содержаниях наполнителя вязкость системы и другие характеристики снижаются.

Это можно объяснить только образованием бидисперсных, а при дальнейшем увеличении содержания наполнителя и полидисперсных частиц дисперсной фазы, которое сопровождается увеличением объема дисперсионной среды за счет уменьшения объема сольватных оболочек на каждой из объединившихся частиц дисперсной фазы, т.к. природа поверхности зародыша частицы дисперсной фазы не изменилась, а, следовательно, и значение λ - то же, то есть происходит переход части углеводов и смол из сольватных оболочек в дисперсионную среду.

Схематическое изображение процесса структурообразования в координатах:

η_0^* - C_m приведено на рис. 11.

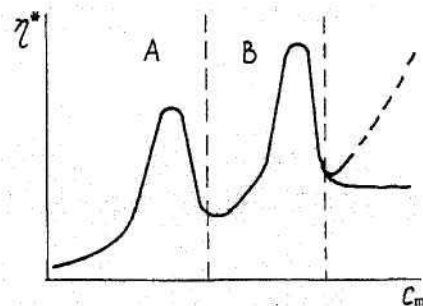


Рис. 11. Теоретические концентрационные зависимости приведенной наибольшей ньютоновской вязкости η^* вязжущих:

A - область монодисперсных или мономолекулярных зародышей частиц дисперсной фазы;

B - область бидисперсных или бимолекулярных зародышей частиц дисперсной фазы.

Представление о моно-, би- и полидисперсных или о моно-, би- и полимолекулярных зародышах частиц дисперсной фазы вязжущих и связанной с этим полиэкстремальной кривой структурообразования - третья концепция теоретических основ строения вязжущих.

Полагаем, что структура дисперсных систем, в том числе органических вязжущих материалов, может быть охарактеризована рядом параметров, так как относительно устойчивые связи в них сохраняются за счет взаимодействий ближнего порядка между частицами дисперсной фазы.

Рассматривая вязжущие, как двухфазные системы с квазисферическими частицами дисперсной фазы, получили простые зависимости для определения основных параметров дисперсной структуры:

объем частиц дисперсной фазы C_v , коэффициент объемности λ , размер частиц дисперсной фазы - эффективный гидродинамический радиус R_ϕ или диаметр $D_\phi = 2R_\phi$;

число частиц дисперсной фазы в единице объема n ;

расстояние между частицами дисперсной фазы в зоне контакта δ_ϕ и их зародышами δ_3 ; толщина сольватной оболочки частицы дисперсной фазы δ_{co} (см. таблицу 5).

Предложение количественно характеризовать дисперсную структуру органических вязжущих материалов перечисленными параметрами - четвертая концепция теоретических основ строения органических вязжущих материалов и других дисперсных систем.

Таблица 5.

Параметры дисперсной структуры

$$C_v = C_m \cdot \lambda \cdot \bar{d} \quad (1)$$

$$P_{K2} = K (\delta_3 - \delta_\phi^\phi - \delta_{mm} - \delta_{yml})^{-7} \quad (2)$$

$$\eta^* = \frac{2,5C_v}{1 - 1,63C_v} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{1}{C_m \cdot d} \ln \eta \times (2,5 + 1,63 \ln \eta)^{-1} \quad (4)$$

$$C_v = 4n / 3\pi r_\phi^3; n = \frac{Nv}{m}; C_v = \frac{4Nvr_\phi^3}{3m} \quad (5)$$

$$r_\phi^3 = \frac{3m}{4\pi \rho N} \ln \eta \times (2,5 + 1,63 \ln \eta)^{-1} \quad (6)$$

$$n = \frac{6C_v}{\pi \cdot D_\phi^3} \quad (7)$$

$$\delta_\phi = \frac{2 \cdot 0,5(1 - C_v)}{S} = \frac{1 - C_v}{S} = D_\phi \frac{1 - C_v}{6C_v} \quad (8)$$

$$\delta_3 = D_\phi \left(\frac{1 + 5C_v}{6C_v} - \frac{1}{3\sqrt{\lambda}} \right) = \delta_\phi + 2\delta_{co} \quad (9)$$

Пятая концепция связана с клеящей способностью вяжущих, которая определяется межмолекулярными силами взаимодействия между частицами дисперсной фазы, зависит от природы этих частиц и расстояния между ними δ_3 и определяется по следующей формуле (2):

$$P_{K2} = K(\delta_3 - \delta_\phi^\phi - \delta_{mm} - \delta_{упл})^{-7} \quad (2)$$

где **K** - константа взаимодействия, характеризует качество (природу) частиц дисперсной фазы, МПа • (Å)⁷;

P_{K2} - динамический предел текучести, МПа;

δ_ϕ^ϕ - сближение частиц дисперсной фазы вяжущего за счет фильтрации части дисперсионной среды в поры минерального материала;

δ_{mm} - сближение частиц дисперсной фазы вяжущего за счет его распределения по поверхности минерального материала;

$\delta_{упл}$ - сближение частиц дисперсной фазы за счет перераспределения части вяжущего в межзерновое пространство при уплотнении смеси.

Для доказательства применимости и справедливости этой формулы, зная δ_3 для модельных битумов и его уменьшение за счет фильтрации части дисперсионной среды в поры минерального материала, **P_{K2}** и **K** для этих битумов, рассчитали требуемое **P_{K2}** для асфальтобетона, исходя из необходимости получения предела прочности при сжатии при 20 °С - 3 МПа, и сравнив его с расчетным, получили, что требуемое **P_K** битума достигается в том случае, когда $\delta_3 > 2\delta_{co}$, то есть частицы дисперсной фазы не будут соприкасаться сольватными оболочками.

Это доказывает, что требуемая прочность асфальтобетона может быть обеспечена за счет межмолекулярных сил взаимодействия между асфальтенами битума.

Для экспериментального доказательства этого положения определили максимально возможную прочность образцов **d = h = 1 см**, сформованных при различном уплотняющем

воздействию.

Как показано на рис. 12, предел прочности при сжатии составляет 9,5 МПа, что можно считать равным R_{K2} , так как асфальтены в таком виде рассматриваются как монокристалл.

Это значение близко к расчетному, полученному по формуле (2). Константа K рассчитана для данных асфальтенов по результатам реологических исследований модельных битумов.

Эти данные доказывают применимость молекулярно-кинетической теории к обоснованию прочности и работоспособности асфальтобетона и других органобетонов, в которых сплошной жидкой фазой надо считать дисперсионную среду органических вяжущих материалов.

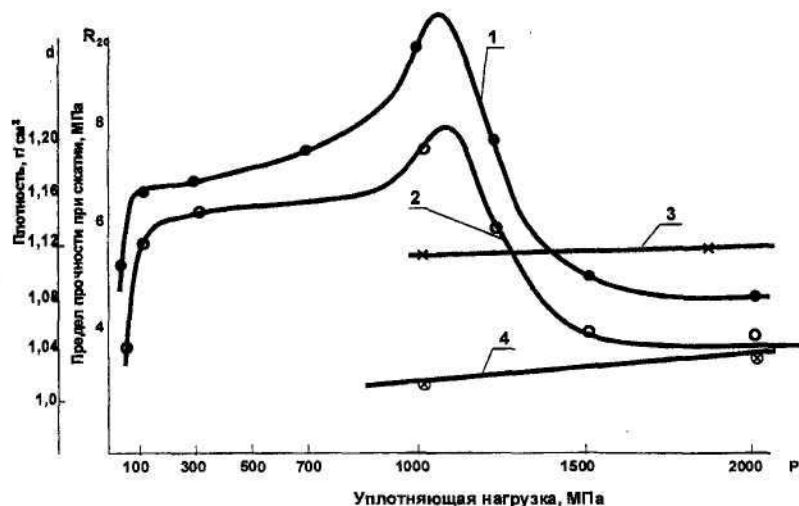


Рис. 12. Влияние уплотняющей нагрузки на прочность асфальтенов и СБС:

*1 - • - R ; 2 - O - d ; 3 - × - R_0 ; 4 - ⊗ - d ;
1 и 2 - асфальтены; 3 и 4 - СБС.*

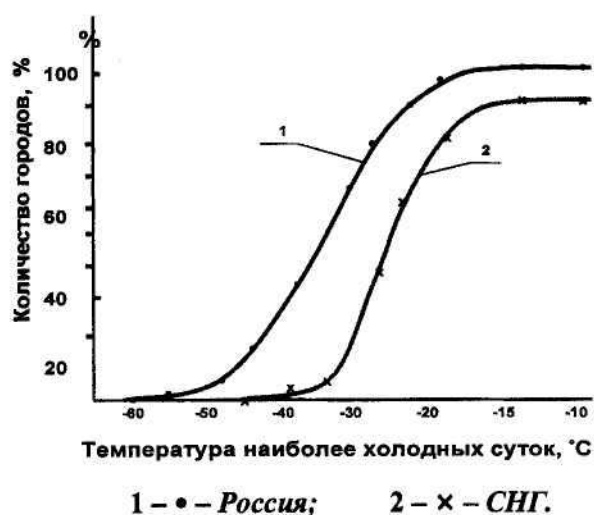
1.6. Требования к органическим вяжущим материалам для дорожных покрытий

Требования к ОВМ определяются как климатическими условиями, так и условиями движения автомобилей или других транспортных средств по покрытию дороги, моста или аэродрома и приведены в таблице 6.

Таблица 6.

Требования к ОВМ для покрытий

1.	Температура хрупкости по Фраасу должна быть равна или ниже температуры наиболее холодных суток (СНиП 23.01.99) «Строительная климатология района эксплуатации покрытия» с обеспеченностью 0,98 для дорог I и II категорий движения, мостов и аэродромов и 0,92 - для дорог более низких категорий
2.	Температура размягчения по методу «Кольцо и Шар» должна быть не ниже расчетной температуры сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий, определенной по формуле Я.Н. Ковалева, учитывающей радиационный и тепловой баланс на их поверхности при отсутствии ветра и температуру воздуха наиболее теплого месяца (СНиП 23.01.99) района эксплуатации покрытия. ОВМ, применяемые для дорог I и II категорий, мостов и аэродромов, по нормам на температуру размягчения должны быть на 2 °С выше
3.	Эластичность, определяемая в соответствии с методикой, опубликованной в ГОСТ Р 52056-2003, должна быть не менее 80-85% в зависимости от консистенции ОВМ при 25 °С и не менее 70-75% при 0 °С; для покрытий на объектах I и II категорий движения нормы на этот показатель рекомендуется повысить на 5%
4.	Адгезия к поверхности минеральных материалов, оцениваемая по показателю сцепления в соответствии с ГОСТ 11508 (метод А), должна удовлетворять требованию - «выдерживает по контрольному образцу № 2» как для эталонного мрамора, относящегося к материалам основных пород (в частности минеральный порошок), так и для щебня и песка, представляющих собой, как правило, материалы кислых пород
5.	Устойчивость к старению, оценивается по изменению показателя температуры размягчения после прогрева, должна быть не ниже требований, регламентированных для битумов марок БНД по ГОСТ 22245



Температуры наружного воздуха наиболее холодных суток, °С (СНиП 2.01.01-02 Строительная климатология и геофизика)	Россия (78 городов)		Страны СНГ (25 городов)	
	Количество городов (Республиканские, краевые столицы и областные центры)	% к общему количеству городов	Количество городов (столицы и другие города стран СНГ)	% к общему количеству городов
ниже минус 10	78	100	24	96
ниже минус 15	78	100	23	92
ниже минус 20	78	100	21	84
ниже минус 25	75	96	15	60
ниже минус 30	65	83	9	36
ниже минус 35	51	65	2	8
ниже минус 40	27	35	1	4
ниже минус 45	10	13	-	0
ниже минус 50	3	4	-	-
ниже минус 55	1	1	-	-
Средняя температура наружного воздуха наиболее холодных суток, °С (значения округлены до целого числа)	минус 37		минус 27	

Рис.13. Распределение значений температур наиболее холодных суток в России и СНГ.

Как видно из данных рис. 13, где приведены значения температур наиболее холодных суток в разных регионах России и в странах СНГ, требования, предъявляемые к ОВМ для покрытий в части их трещиностойкости, должны быть достаточно высокие.

Полагаю, что при соблюдении всех требований, приведенных в таблице 6, удастся избежать температурных трещин, сдвиговых дефектов, шелушений, выкрашиваний и выбоин на покрытиях в течение всего срока их эксплуатации.

1.7. Разработка органических вяжущих материалов требуемого качества

Дорожные битумы, выпускаемые в России в соответствии с ГОСТ 22245, не удовлетворяют сформулированным в таблице 6 требованиям.

Сырье для производства дорожных битумов и технология их получения как в России, так и во всем мире не позволяют обеспечить четыре (1, 2, 3, 4) основных требования к ОВМ - битумы недостаточно трещиностойки, не теплостойки, не эластичны и не обладают требуемой адгезией к поверхности минеральных материалов кислых пород.

В мире проводились и проводятся многочисленные исследования, направленные на повышение качества битума до требуемого уровня. Наиболее интересные результаты получены при введении в битумы добавок полимеров и поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В 1967 г. в Союздорнии Л.М. Гохманом под руководством А.С. Колбановской начаты работы по улучшению физико-механических свойств битумов.

Были сформулированы принципы выбора компонентов для получения полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), которые приведены в таблице 7.

Соблюдение этих принципов позволяет получить однородные ПБВ при минимальных затратах, свойства которого можно регулировать в широких пределах.

Таблица 7.

Принципы выбора компонентов ПБВ

1. Совместимость
2. Кинетическая устойчивость - плотности компонентов не должны отличаться от плотности ПБВ более чем на 10%
3. Максимально допустимый размер зародыша частицы дисперсной фазы не должен превышать 100 нанометров
4. Эластичная структурная сетка в ПБВ должна образовываться во всем объеме при минимальном содержании полимера
5. Должна быть обеспечена возможность одновременного повышения теплостойкости и трещиностойкости ПБВ
6. Требуемые нормы по токсичности, пожаробезопасности и технологичности должны быть не ниже, чем для битумов

Для обеспечения максимально эффективной работы полимера в объеме битума и создания пространственной структурной сетки при минимальном содержании полимера в качестве одного из компонентов ПБВ принят пластификатор.

Так как битумы, на основе которых создаются ПБВ, не обеспечивают требуемую адгезию к минеральным материалам кислых пород, в качестве четвертого компонента использовали ПАВ двойного действия.

Для выбора наиболее подходящего для наших целей полимера, а их сотни марок, все полимеры объединили в 4 класса, как показано в таблице 8, где приведены примеры полимеров, относящихся к разным классам.

Анализ показал, что каучукоподобные полимеры образуют пространственную эластичную структурную сетку в битуме при очень высоких концентрациях не менее 8% по массе; пластмассы не позволяют получить требуемую трещиностойкость ПБВ и плохо растворяются в битуме; реактопласты - дороги и требуют специального отвердителя, что может ухудшить технологические свойства полимерасфальтобетонных смесей.

В связи с этим выбор остановили на термоэластопластах - блоксополимерах типа СБС, так как они хорошо растворяются в битуме и образуют пространственную структурную сетку из макромолекул полимера в битуме при минимальном содержании.

Из этого класса полимеров выбрали оптимальный по составу, содержащий 30% связанного стирола и имеющий характеристическую вязкость $1,2 \div 1,4$, что соответствует мольмассе ориентировочно от 90000 до 110000 - это соответствует марке ДСТ 30Р-01 или ДСТ 30-01 ОАО «Воронежсинтезкаучук».

В качестве пластификатора выбрали промышленное масло, так как его температура вспышки выше 200 °С, содержание парафино-нафтеновых углеводородов составляет 75-80% по массе и оно при 140-150 °С хорошо совмещается не только с битумом, но и с полимером.

Наиболее эффективным ПАВ на сегодняшний день является «Техпрогресс-1», который удовлетворяет всем требованиям, перечисленным в таблице 8.

Таблица 8.

Критерии выбора полимера, пластификатора и ПАВ для ПБВ

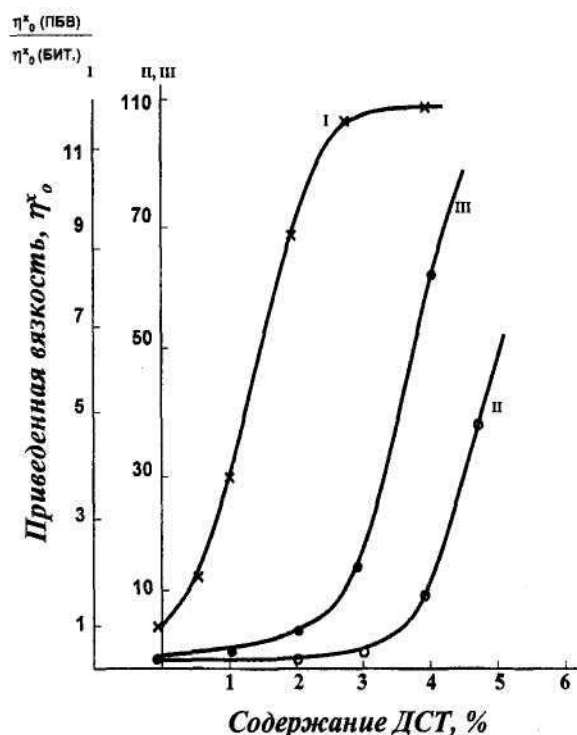
Выбор полимера
<ol style="list-style-type: none"> 1. Каучукоподобные - эластомеры (дивинил-стирольные каучуки) 2. Пластмассы - термопласты (полиэтилен, полипропилен, полистирол) 3. Смолы - реактопласты (эпоксидные, фенолформальдегидные) 4. Блоксополимеры - термоэластопласты (блоксополимеры бутадиена и стирола типа СБС, изопрена и стирола типа СИС)
Выбор пластификатора
<ol style="list-style-type: none"> 1. $T_{всп} - \geq 190 \text{ }^\circ\text{C}$ 2. Содержание парафино-нафтеновых углеводородов $\geq 70\%$ 3. Должен хорошо растворять и битум, и полимер
Выбор ПАВ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Двойное действие - повышает адгезию как к кислым, так и к основным минеральным материалам 2. Не обладает резким неприятным запахом 3. Эффективен при минимальном содержании 4. $T_{всп} \geq 190 \text{ }^\circ\text{C}$

1.8. Разработка способа приготовления и комплекса технических требований к ПБВ

На рис. 14 приведены результаты исследования реологических свойств ПБВ на основе битумов с разными типами дисперсной структуры в зависимости от содержания в них полимера марки ДСТ 30-01.

Как видно из приведенных данных, минимальное содержание полимера, необходимое для образования пространственной структурной сетки, в битумах I типа составляет 1%, III типа - 2,5-3%; II типа - 3,5-4,0% и характеризуется аномальным изменением вязкости на концентрационных зависимостях.

Битум, содержащий определенное количество полимера, необходимое для образования новой пространственной структуры, является новым вяжущим, называемым ПБВ.



**Рис. 14. Концентрационные зависимости приведенной наибольшей ньютоновской вязкости для битумов разных типов дисперсной структуры:
× - I тип; o - II тип; • - III тип.**

Эти данные представляют собой экспериментальное подтверждение теоретических положений, изложенных в разделе 1.5.

Используя формулу (1) и значения λ , рассчитанные по формуле (4) из результатов реологических показателей, полученных экспериментальным путем, можно теоретически рассчитать минимальное содержание полимера в битуме для получения ПБВ.

Так например для битумов III типа содержание асфальтенов по массе в среднем составляет $C_m \cong 0,22$.

При этом для асфальтенов $\lambda \cong 2,0$; а $\bar{d} \cong 0,83$

для ДСТ $\lambda \cong 9,0$, а $\bar{d} \cong 1,04$.

В этом случае объем частиц дисперсной фазы, представленной в ПБВ асфальтеновыми комплексами, составит $C_v^{асф} = 0,22 \times 2,0 \times 0,83 = 0,365$.

Так как $C_v^{**} = 0,613$ - наиболее вероятный объем частиц дисперсной фазы с ПБВ, то $C_v^{ДСТ} = 0,613 - 0,365 = 0,248$, а, следовательно, по формуле (1):

$$C_m^{ДСТ} = 0,248 : (9 \times 1,04) = 0,0265 \text{ или } 2,65\%.$$

Это значение всего на 6% отличается от экспериментально полученного - 2,5%.

Реологические характеристики, представленные в таблице 9, позволяют сопоставить ПБВ с битумом и ПБВ на битумах разных типов между собой.

ПБВ отличается от битумов I, III, II типов значительно большей вязкостью - соответственно в 4, 20, 10 раз; прочностью - в 4, 60, 7 раз; упругостью - в 3, 3, 2 раза; работоспособностью - в 2, 4, 5 раз; тиксотропными свойствами - в 2, 2, 2 раза; эластичностью - в 0,5, 1,5, 2,5 раза.

ПБВ с минимальным содержанием ДСТ на основе битумов III типа отличаются промежуточным значением вязкости, наибольшей прочностью, упругостью, близкой к ПБВ на основе битума II типа, и промежуточными значениями показателей работоспособности, тиксотропии и эластичности.

В дальнейших исследованиях доказано, что ПБВ с требуемыми свойствами могут быть получены на основе битумов любых типов дисперсной структуры.

На рис. 15 показано, что для битумов III типа марок БНД равновесное состояние системы, то есть образование новой эластичной структурной сетки, достигается при содержании 2,5-3% ДСТ, что соответствует минимальному содержанию полимера в ПБВ.

Обращает на себя внимание высокое значение показателя эластичности как при 25 °С, так и при 0 °С, присущее собственно эластомерам.

Таблица 9.

Реологические характеристики вяжущих

Тип структуры битума	ДСТ, % по мас-се	$\eta_0^* \cdot 10^{-7}$, пуаз	$R_{K2} \cdot 10^{-2}$, дин/см ²	$G_{mo} \cdot 10^{-3}$, дин/см ²	$\theta_{mo} \cdot 10^{-3}$, с	ψ	$\frac{K \cdot 10^2, \text{ см}^2 \cdot \text{сек,}}{\text{дин}}$
I	0	43	80	67	6	1	10
	1	181	321	186	10	2	5
	3	500	1641	390	13	25	3
III	0	3	4	20	2	3	11
	3	59	230	63	9	2	15
	5	191	1050	181	11	8	6
II	0	3	10	10	3	18	26
	4	29	68	21	14	33	64
	5	120	226	47	25	62	54

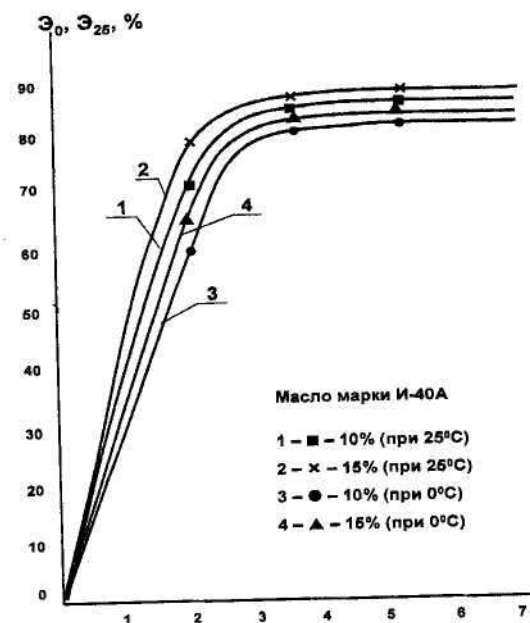


Рис. 15. Зависимость эластичности ПБВ при 25 °С (кривые 1, 2) и при 0 °С (кривые 3, 4) от содержания ДСТ (битум марки БНД 60/90 инд. 1003).

На рис.16 приведены зависимости основных эксплуатационных показателей вяжущих - температур хрупкости и размягчения ПБВ от содержания пластификатора.

Как видно из приведенных данных, независимо от содержания полимера в ПБВ с увеличением содержания пластификатора, повышается трещиностойкость ПБВ, а теплоустойкость при содержании полимера более 3% по массе проходит через максимум при определенном содержании пластификатора.

Это связано с эффектом межструктурной пластификации, вызванным набуханием полимера.

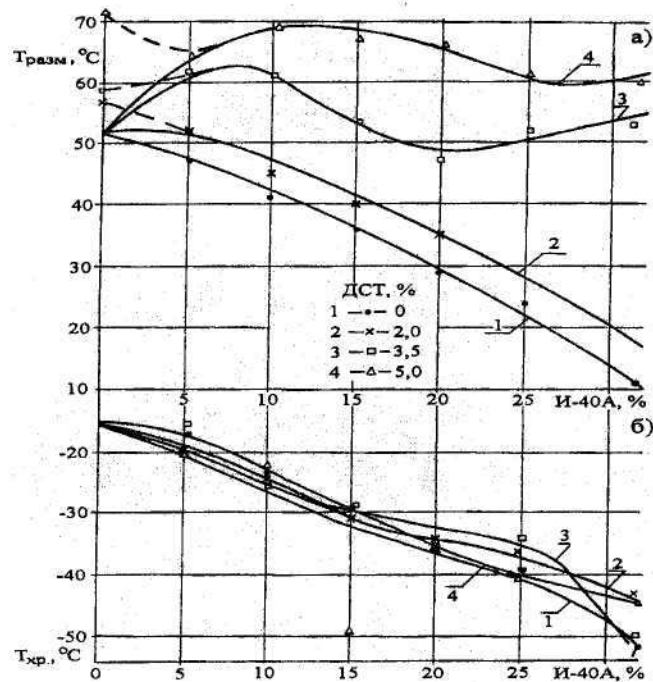


Рис. 16. Зависимость температур размягчения и хрупкости ПБВ (на основе битума марки БНД 60/90 инд. 1003) от содержания индустриального масла.

Приведенные данные показывают, что, варьируя содержанием полимера и пластификатора в ПБВ, можно добиться любых требуемых эксплуатационных показателей.

Это положение принципиальным образом меняет ситуацию с вяжущими - то есть появляется возможность регламентировать региональные требования к вяжущим и реализовать их.

Важно отметить, что при динамическом воздействии, вызванном воздействием колес автомобиля, происходит смещение температуры хрупкости материала в сторону положительных температур.

На рис.17 приведены температурные зависимости динамических характеристик вяжущих, свидетельствующие о том, что ПБВ характеризуется значительно более широким температурным диапазоном работоспособности, чем битум, причем одновременно выше и трещиностойкость, и теплостойкость.

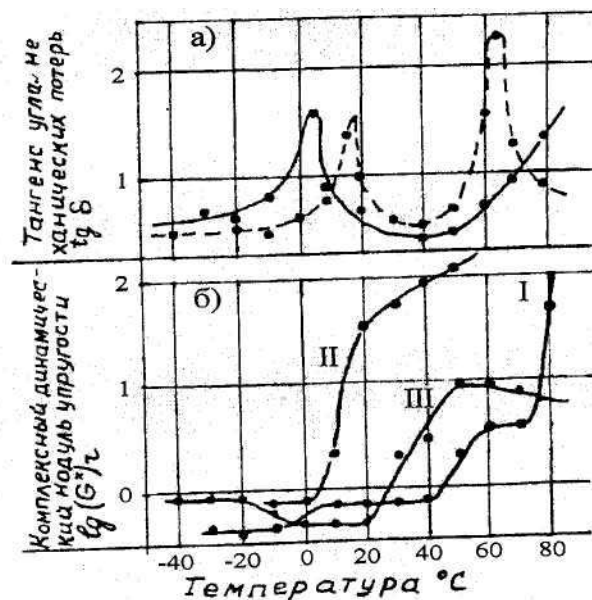


Рис. 17. Влияние температуры и структуры битума на поведение ПБВ:
 - - - - - битум, — ПБВ; I, II, III - тип структуры битума.

За рубежом применяют ПБВ на основе СБС без пластификатора или с очень небольшим его содержанием.

На рис. 18 приведены данные, свидетельствующие о том, что в этом случае только при содержании более 6% полимера по массе удается обеспечить трещиностойкость ПБВ на уровне $T_{xp} = \text{минус } 25^\circ\text{C}$ даже при введении полимера в битум марки БНД 200/300.

Однако при этом резко повышается вязкость ПБВ ($T_p > 70^\circ\text{C}$), что делает полимерасфальтобетонные смеси неудобокладываемыми и неудобоуплотняемыми.

Так как в России применяются окисленные битумы, то повышать температуру смеси выше 160°C нецелесообразно в связи с резкой интенсификацией процессов старения ПБВ.

Поэтому применение ПБВ без пластификатора целесообразно лишь в тех случаях, когда не требуется трещиностойкость ниже минус 20°C .

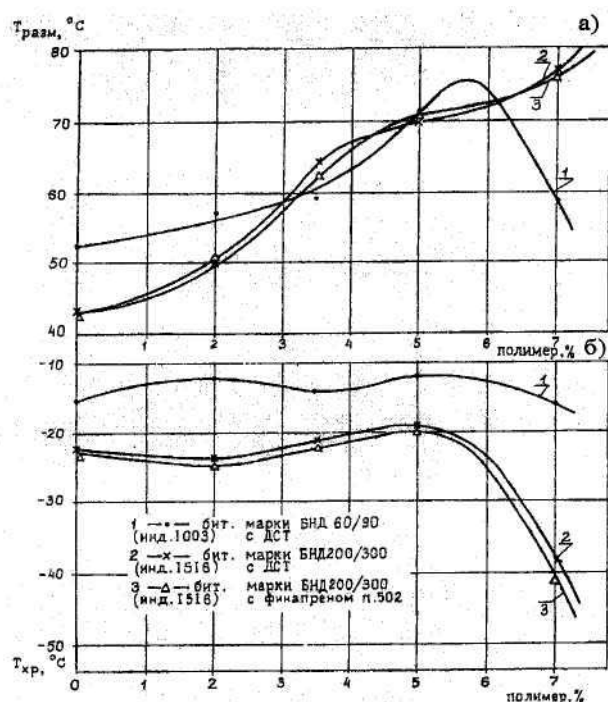


Рис. 18. Зависимость температур размягчения и хрупкости ПБВ (на основе битумов разных марок) от различного содержания в них полимеров.

Преимущество применения пластификатора проявляется не только в получении ПБВ высокого качества при минимальном содержании полимера, но и в значительно более высокой производительности работ при приготовлении ПБВ, высокой удобоукладываемости и уплотняемости полимерасфальтобетонных смесей, возможности обеспечения требуемого качества покрытий по трещиностойкости и сдвигоустойчивости без изменения принятых для асфальтобетонных смесей технологических режимов их устройства.

Эластичная структурная сетка в ПБВ кроме придания ему высокой эластичности, что принципиально отличает это вяжущее от битума, придает ему способность к ориентации при отрицательных температурах.

Механизм процессов ориентации обусловлен возможностью пластического деформирования этой сетки при высокой вязкости системы, которая способна зафиксировать эту сетку в ориентированном, растянутом состоянии, армируя, таким образом, этот материал.

В результате, как видно из рис. 19, прочность ПБВ после 200 циклов нагружения при изгибе существенно возрастает с увеличением содержания полимера, что проявляется в повышении трещиностойкости, а прочность битума ухудшается, что связано с его усталостью при многократном нагружении.

Данный эффект наблюдается при температурах, близких к температуре хрупкости ПБВ, определяемой по Фраасу.

Для выявления этого эффекта в ПБВ разработан метод определения долговременной прочности (трещиностойкости при многократном растяжении) органических вяжущих материалов. Испытания проводятся на приборе Фрааса.

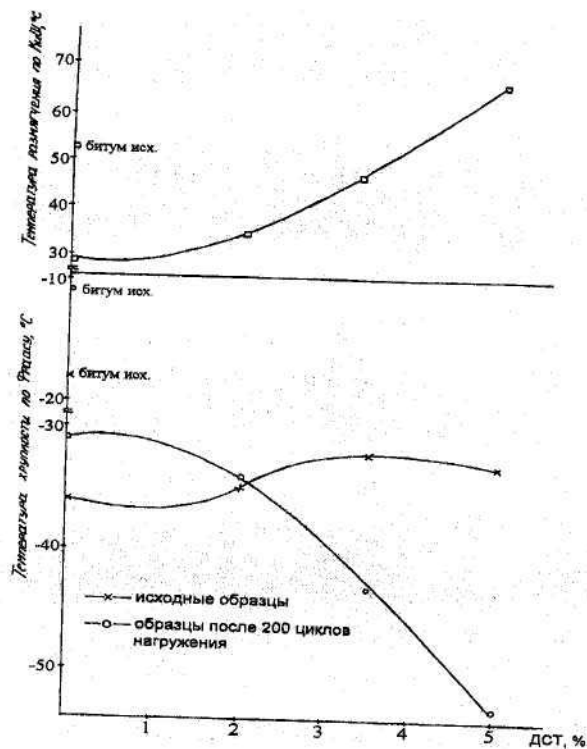


Рис. 19. Зависимость температур размягчения и хрупкости ПБВ от содержания ДСТ.

1.9. Технические требования к ПБВ на основе СБС

Для доказательства возможности и целесообразности применения ПБВ на основе блоксополимеров типа СБС построены опытные участки верхнего слоя покрытия на дорогах, мостах и аэродромах практически во всех дорожно-климатических зонах, проведены многолетние обследования этих участков, доказано, что сроки службы таких покрытий и поверхностных обработок увеличиваются в 1,5-3 раза.

В 1972 г Государственная комиссия Минтранстроя СССР приняла решение о широком внедрении ПБВ на основе СБС в СССР.

В 1972, 1975, 1979, 1988 годах изданы рекомендации Союздорнии, а в 2007 году - рекомендации Росавтодора Минтранса РФ по применению ПБВ.

В 1988 году утверждены ТУ 35 1669-88 на ПБВ и полимерасфальтобетон на его основе, в 1998 году утвержден Росавтодором ОСТ 218.010-98 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа СБС. Технические условия», а в 2003 г. - национальный стандарт ГОСТ Р 52056-2003 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия».

Комплекс показателей, регламентирующих качество ПБВ, включает все показатели, регламентированные для битумов в ГОСТ 22245 и дополнительно «однородность, эластичность при 25 °С и 0 °С».

Эластичность определяется на стандартном дуктилометре после разрыва образца и показывает долю полностью обратимой деформации в общей величине растяжимости.

Таблица 10.

Технические требования к вяжущим

Наименование показателей	Нормы по маркам										
	ПБВ 300	БНД 200/300	ПБВ 200	БНД 130/200	ПБВ 130	БНД 90/130	ПБВ 90	БНД 60/90	ПБВ 60	БНД 40/60	ПБВ 40
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, не менее: при 25 °С при 0 °С	300 90	201-200 45	200 70	131-200 35	130 50	91-130 28	90 40	61-90 20	60 32	40-60 13	40 25
Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	45	35	47	40	49	43	51	47	54	51	56
Растяжимость, см, не менее: при 25 °С при 0 °С	30 25	- 20	30 25	70 6	30 20	65 4	30 15	55 3,5	25 11	45 -	15 8
Температура хрупкости, °С, не выше	-40	-20	-35	-18	-30	-17	-25	-15	-20	-12	-15
Эластичность, %, не менее: при 25 °С при 0 °С	85 75	- -	85 75	- -	85 75	- -	85 75	- -	80 70	- -	80 70
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С, не более	7	7	7	6	6	5	6	5	5	5	5
Температура вспышки, °С, не ниже	220	220	220	220	220	230	230	230	230	230	230
Сцепление с мрамором или песком	Выдерживает по контрольному образцу № 2										
Однородность	одно- родно	-	одно- родно	-	одно- родно	-	одно- родно	-	одно- родно	-	одно- родно

Как видно из таблицы 10, при сопоставлении битумов и ПБВ с близкой пенетрацией преимущество ПБВ регламентировано наличием высокой эластичности как при 25 °С, так и при 0 °С, более высокой температурой размягчения и одновременно лучшей трещиностойкостью, более высокой деформативностью (пенетрацией) при 0 °С, относительным удлинением (растяжимостью) при 0 °С.

При этом верхний предел пенетрации при 25 °С не ограничивается, что позволяет обеспечивать высокие технологические свойства полимерасфальтобетонных смесей за счет высокой пенетрации ПБВ при обеспечении требуемой теплостойкости, сдвигоустойчивости и долговременной прочности покрытий.

Важнейшим преимуществом ПБВ является возможность регулировать их свойства за счет соотношения содержания полимера и пластификатора, что создает возможность использования ОВМ требуемого качества в любых климатических условиях для разных условий движения.

В связи с этим в 2007 г. разработаны Изменения № 1 к ГОСТ Р 52056 в части регламентирования региональных требований по основным эксплуатационным показателям ПБВ - температурам размягчения и хрупкости.

Пример этих требований приведен в таблице 11. Учитывая высокую грузонапряженность на дорогах I и II технических категорий, рекомендовано увеличение нормы по температуре размягчения на 2 °С и показателя эластичности на 5%.

В целях исключения шелушений, выкрашиваний, выбоин на покрытиях введены требования по обеспечению сцепления, как с эталонным мрамором, так и с применяемыми щебнем и песком на уровне «выдерживает по контрольному образцу № 2» по ГОСТ 11508 метод А.

На рис. 20 приведена технологическая схема приготовления ПБВ, которая предусматривает введение в битум пластификатора, затем полимера и перемешивание до однородного состояния, либо получение раствора полимера в пластификаторе, а затем ведение раствора требуемой, исходя из данных, полученных при подборе состава ПБВ, концентрации полимера и пластификатора в битуме и перемешивание до однородного состояния.

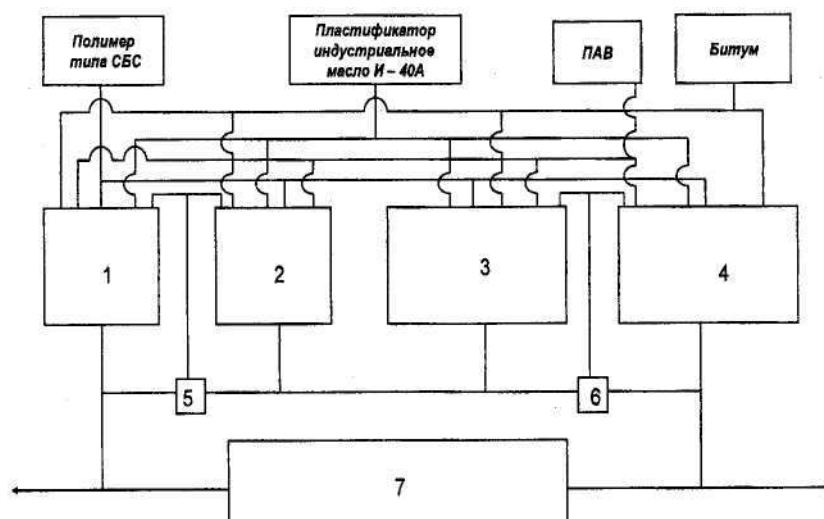


Рис. 20. Технологическая схема приготовления КОВ, в том числе ПБВ.

Таблица 11.

Региональные технические требования к ПБВ
(Изменение № 1 ГОСТ Р 52056-200,
приложение А (рекомендуемое))

№ п/п	Республика, край, область, пункт	Температура хрупкости по Фраасу, °С, обеспеченностью		Температура размягчения по Кольцу и Шару, °С не ниже
		0,98 дороги I и II категории, мосты и аэродромы	0,92 дороги III, IV и V категорий	
1	Республика Адыгея, Майкоп	-27	-22	66
2	Амурская область, Благовещенск	-38	-37	63
3	Архангельская область, Архангельск	-39	-37	57
4	Республика Бурятия, Баргузин	-46	-44	61
5	Волгоградская область, Волгоград	-33	-30	66
6	Республика Дагестан, Дербент	-16	-13	64
7	Иркутская область, Братск	-47	-46	59
8	Кабардино-Балкарская Республика, Нальчик	-24	-21	64
9	Кировская область, Киров	-39	-37	60
10	Краснодарский край, Краснодар	-27	-23	67
11	Краснодарский край, Сочи	-9	-6	62
12	Магаданская область, Магадан	-34	-32	49
13	Московская область, Москва	-36	-32	59
14	Пермская область, Пермь	-42	-39	59
15	Ростовская область, Таганрог	-28	-26	64
16	Республика Северная Осетия-Алания, Владикавказ	-24	-20	62
17	Чеченская Республика, Грозный	-23	-22	67
18	Ленинградская область, Санкт-Петербург	-33	-30	58

Ниже приведен перечень рекомендуемой нормативно-технической документации, содержащей более полную информацию по рассмотренной проблеме.

ОСТ 218.010-98 «Вязущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа СБС. Технические условия».

ГОСТ Р 52056-2003 «Вязущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия».

Гохман Л.М. Применение полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве. Статья в сборнике статей ЦМИС МАДИ «Применение полимерно-битумных вяжущих на основе блоксополимеров типа СБС». М., 2001. Стр.5-60.

Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Давыдова А.Р., Давыдова К.И. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. Обзорная информация 4. Информавтодор, М., 2002. 112 стр.

Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Давыдова К.И., Давыдова А.Р. Руководство по применению комплексных органических вяжущих (КОВ), в том числе ПБВ, на основе блоксополимеров типа СБС в дорожном строительстве. Росавтодор Минтранса России. Информавтодор, М., 2003 г. Утверждено распоряжением Минтранса России № ОС-134-р от 11.03.2003. 100 стр.

Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Гершкохен С.Л., Давыдова К.И. ОДМ «Метод опреде-

ления долговременной прочности (трещиностойкости при многократном растяжении) органических вяжущих материалов». Росавтодор Минтранса России. Утверждено распоряжением Росавтодора № ОС-711-р от 27.08.02. Информавтодор, М., 2002 г., 12 стр.

Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Давыдова А.Р., Гершкохен С.Л.

Методы контроля состава полимерно-битумных вяжущих на основе СБС, полимерасфальтобетонных смесей и полимерасфальтобетона (для опытного применения) Росавтодор Минтранса России. Утверждено распоряжением Минтранса России от 26.05.03 № ОС-476-р. Информавтодор, М., 2003 г., 28 стр.

Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Давыдова А.Р., Давыдова К.И., Гавриленко О.В. Методические рекомендации по контролю качества полимерасфальтобетонных покрытий с применением полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) на основе СБС. Росавтодор Минтранса России. Введены в действие распоряжением Минтранса России от 10.10.2003 г. № ОС-888-р. Информавтодор, М., 2003, 11 стр.

Гохман Л.М., Давыдова А.Р. Руководство по применению поверхностно-активных веществ при устройстве асфальтобетонных покрытий (взамен ВСН 59-68) Росавтодор Минтранса. Утверждено распоряжением Минтранса России № ОС-358 от 18.04.2003 г. 40 стр.

ОДМ 218.2.002-2007. Метод определения эластичности асфальтовяжущего в полимерасфальтобетонных смесях. Утверждено распоряжением Росавтодора от 01.02.2007 г. № 30-р.

ОДМ 218.2.004-2006. Рекомендации по определению устойчивости к старению и вязкости битумов. Утверждено распоряжением Росавтодора от 01.02.2007 г. № 28-р.

ОДМ 218.2.001-2007. «Метод определения трещиностойкости полимерасфальтобетона при отрицательных температурах». Утверждено распоряжением Росавтодора от 01.02.2007 г. № 31-р.

Гохман Л.М. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС. Издательство «ЭКОНИНФОРМ». М., 2004, 584 стр.

ОДМ 218.2.003-2007. Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блоксополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. Утверждено распоряжением Росавтодора от 01.02.2007 г. № ОБ-29-р.

2. ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОН, СВОЙСТВА, МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА (лекция 2)

2.1. Введение

Асфальтобетон в соответствии с представлениями основоположников науки об этом материале, в том числе П.В. Сахарова и Л.Б. Гезенцвея, представляет собой дисперсную систему, в которой «твердая фаза представлена совокупностью минеральных частиц. Жидкой фазой служит битум» (Л.Б. Гезенцвей и др. Дорожный асфальтобетон. М, Транспорт, 1976 г.).

При этом констатируется, что асфальтобетон относится к коагуляционным структурам.

В результате исследований, приведенных в первой части данной работы, следует уточнить эти представления:

асфальтобетон, полимерасфальтобетон и другие органобетоны на основе органических вяжущих материалов с коагуляционной структурой - это дисперсные системы, где частицами дисперсной фазы являются частицы минеральных материалов, адсорбировав-

шие на своей поверхности и поглотившие в свои поры часть компонентов вяжущего, а также частицы дисперсной фазы собственно вяжущего, а дисперсионной средой (жидкой фазой) является дисперсионная среда вяжущего.

В связи с этим в будущем необходимы серьезные исследования, направленные на исследование влияния состава и свойств дисперсионной среды битумов, ПБВ и других ОВМ на свойства асфальтобетона, полимерасфальтобетона и других органобетонов.

В начале 80-х годов в соответствии с народно-хозяйственной программой, подготовленной по заданию Минтрансстроя СССР, было намечено построить более 3000 км полимерасфальтобетонных покрытий с применением ПБВ на основе блоксополимера типа СБС марки ДСТ 30-01 на объектах Минтрансстроя СССР, Минавтодора РСФСР, минавтодоров Молдавии, Казахстана, Азербайджана и Министерства гражданской авиации СССР. К сожалению, по ряду причин реализовать эту программу не удалось.

В 1995 г. приказом Федеральной дорожной службы России № 9 от 31.01.95 г. за подписью генерального директора А.П. Насонова предписано внедрение ПБВ на основе СБС на федеральных дорогах России.

В связи с этим постановлением Минстроя России от 08.06.95 г. № 18-57 было внесено изменение № 4 в СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги» в п.7.3.4:

«Для обеспечения повышенной трещиностойкости и продления срока службы асфальтобетонных покрытий при условии низких отрицательных температур в районе строительства следует применять полимерасфальтобетоны с использованием полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) на основе блоксополимеров бутадиена и стирола типа СБС (марок ДСТ 30-01 и ДСТ 30Р-01, а также их зарубежных аналогов) с требуемой для данного района строительства температурой хрупкости».

2.2. Сопоставление свойств полимерасфальтобетона и асфальтобетона

Особенности ПБВ проявляются в технологических и эксплуатационных свойствах полимерасфальтобетонных смесей.

Наибольшей уплотняемостью обладают смеси с применением ПБВ.

При этом оптимум работы уплотнения находится при более низких температурах, чем при применении как вязкого, так и разжиженного битума, то есть смесь хорошо уплотняется при пониженной температуре.

При этом получаем материал с несколько иной поровой структурой. Разность между остаточной пористостью и водонасыщением, которая характеризует объем замкнутых пор в смесях с ПБВ, на 20-30% больше, чем в случае применения битума, что следует из таблицы 12.

Полимерасфальтобетон удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к горячему асфальтобетону по ГОСТ 9128-97, и отличается повышенной деформативностью (о чем косвенно свидетельствует меньшая прочность при 0 °С), высокими прочностью при 50 °С, водо- и морозостойкостью.

Наиболее показательной характеристикой, позволяющей на основе стандартных показателей выявить отличие полимерасфальтобетона от асфальтобетона, является коэффициент температурной чувствительности. Полимерасфальтобетон значительно менее чувствителен к изменению температуры.

Таблица 12.

Показатели физико-механических свойств полимерасфальтобетонов типа «Д»

№ п/	Применяемое	Пористость	Остаточная	Объемный	Водонасы-	Набуха-	Предел прочности при сжатии кг/см ²	Коэффициент водостойкости	Коэффициент морозостойко-	Коэффициент

п	вяжущее	минерального остова, % по объему	пористость, % по объему	вес, г/см ³	щение, % по объему	ние, % по объему						сти		температурной чувствительности
							20 °С	50 °С	0 °С	станд.	15сут.	25 циклов	50 циклов	
		$V_{пор}^o$	$V_{пор}$	Y	W	H	R ₂₀	R ₅₀	R ₀	K _B	K_B^{15}	K ₂₅	K ₅₀	R ₀ /R ₅₀
1	Битум вязкий	19,9	4,3	2,30	2,6	0,1	34	13	75	0,88	0,75	0,75	0,62	5,76
2	Битум разжиженный	20,7	4,6	2,28	3,1	0,2	30	10	66	0,84	0,65	0,60	0,42	6,60
3	ПБВ с 2% ДСТ	19,9	4,2	2,30	2,1	0,2	36	16	70	0,93	0,80	0,85	0,74	4,37
4	ПБВ с 5% ДСТ	19,5	4,1	2,31	2,3	0,3	41	21	71	0,90	0,81	0,88	0,80	3,38

Деформативность асфальтобетона и полимерасфальтобетона исследовали как в статическом, так и в динамическом режимах нагружения.

Полимерасфальтобетон отличается большей деформативностью при минус 20 °С, чем асфальтобетон с применением битума, в том числе разжиженного, обладает большей теплоустойчивостью и упругостью при 20 °С как при малых, так и при больших временах действия нагрузки (табл. 13).

Таблица 13.

Свойства песчаного полимерасфальтобетона типа «Д»

Наименование показателя	Время действия нагрузки, сек.	Температура, °С	Применяемые вяжущие			
			битум исходный	битум разжиженный	ПБВ с 2% ДСТ	ПБВ с 5% ДСТ
Равновесный модуль						
$E_m \left(\frac{кгс}{см^2} \right) \cdot 10^{-3}$	-	+20	1,09	0,77	1,57	3,13
	-	-20	36,5	8,5	5,92	19,5
Модуль деформации						
$E \left(\frac{кгс}{см^2} \right) \cdot 10^{-3}$	10	+20	0,24	0,16	0,36	0,96
		-20	18,3	4,7	3,4	9,4
	0,02	-20	133	32,5	22	50,5
Пластичность Р						
	-	+20	0,34	0,39	0,34	0,28
	-	-20	0,151	0,147	0,142	0,107
Наибольшая вязкость условно-неразрушенной структуры						
$\eta_0^x \cdot 10^{-10}, \frac{кгс \cdot с}{см^2}$	-	+20	11,6	7,6	15,6	31,2
	-	-20	488	270	340	1300
	-	-	42	35	22	42
Коэффициент старения						
<u>α до старения</u>	-	-20	1,76	1,73	1,39	-
<u>α после старения</u>						

Испытания, проведенные на механическом прессе МиП-100 в условиях динамического изгиба (скорость хода поршня 1200 мм/мин.), показали, что температура, при которой происходит хрупкое разрушение асфальтобетона, действительно значительно сдвигается в область отрицательных температур (при оптимальном содержании ДСТ - на 20 °С) (рис. 21).

При этом прочность полимерасфальтобетона на изгиб при положительных температурах выше, чем асфальтобетона.

Испытания песчаного полимерасфальтобетона типа Г на основе ПБВ с 2% ДСТ и асфальтобетона типа Г с применением разжиженного битума в диапазоне температур плюс 40 ± минус 20 °С проведены на установке для динамических испытаний, сконструированной в ХАДИ.

Испытания проведены под руководством В.А. Золотарева как в синусоидальном режиме в диапазоне частот 0,1-100 гц, так и в статическом режиме при изгибе.

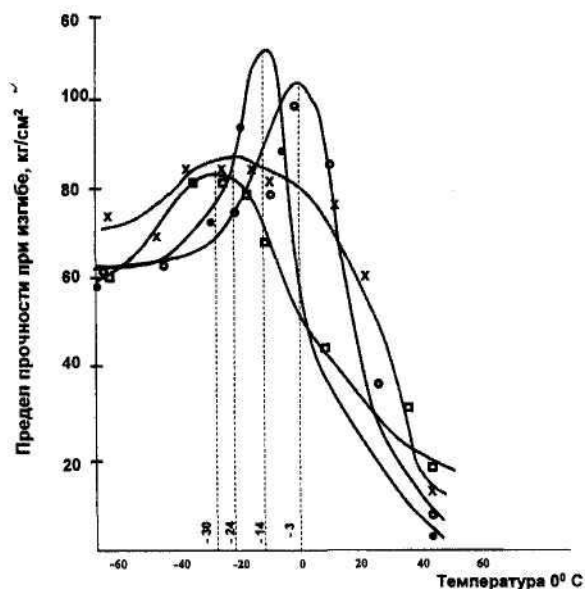


Рис. 21. Температурные зависимости прочности при динамическом изгибе для песчаного асфальтобетона:
1 - • - разжиженный битум; 2 - О - исходный битум;
3 - × - ПБВ + 2% ДСТ; 4 - ■ - ПБВ + 5% ДСТ.

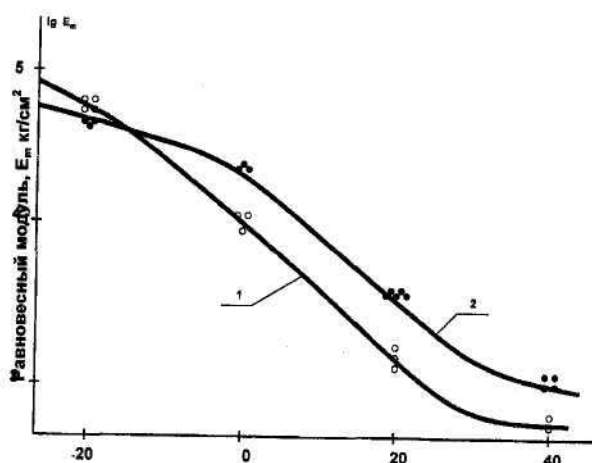


Рис. 22. Температурные зависимости равновесного модуля асфальтобетона типа Г:
 1 - битум разжиженный; 2 - ПБВ с 2,5% ДСТ.

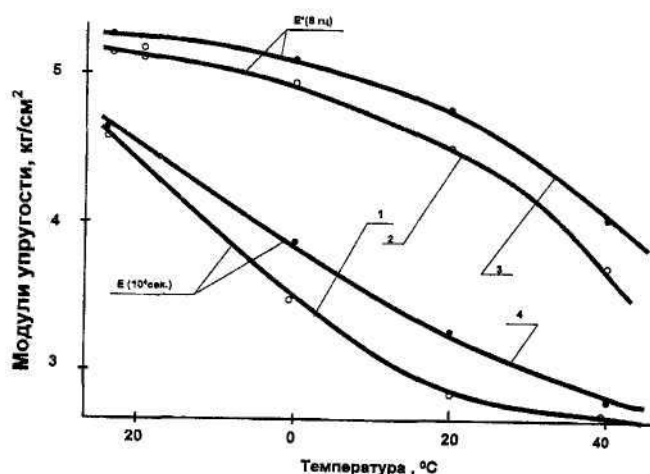


Рис. 23. Температурные зависимости модулей упругости полимерасфальтобетона и асфальтобетона:
 1 и 2 - битум разжиженный; 3 и 4 - ПБВ 2,5.

Из рис. 22 и 23 видно, что полученные данные подтверждают большую деформативность асфальтобетона с применением ПБВ при отрицательной температуре (по сравнению с применением как вязкого, так и разжиженного битума) и одновременно большую упругость при положительной температуре, меньшую теплочувствительность и повышенную динамическую устойчивость.

Старение асфальтобетона с применением ПБВ оценивали по изменению его акустических показателей после прогрева.

За показатель старения принято отношение коэффициентов затухания звуковой волны в образцах-балочках (α) до и после прогрева при 120 °С в течение 40 часов.

Можно предполагать, что на макромолекулах ДСТ адсорбируется часть легких уг-

леводородов из дисперсионной среды битума, тем самым, замедляя переход масел в смолы и образование асфальтенов.

Кроме того, меньшее количество открытых пор должно обуславливать меньший доступ кислорода к вяжущему. Совместное действие этих двух факторов обуславливает большую устойчивость асфальтобетона с применением ПБВ к старению (табл. 13).

В связи с тем, что в последние годы в качестве наиболее оптимального пластификатора для ПБВ предложено индустриальное масло, возникли опасения относительно сдвигоустойчивости полимерасфальтобетона.

Особенно остро обсуждался этот вопрос в процессе реконструкции МКАД. В связи с этим, учитывая, что для устройства верхнего слоя покрытия Союздорпроект предусмотрел применение полимерасфальтобетона типа А на основе вяжущего марки ПБВ 90/130, проведены исследования свойств асфальтовяжущего с одинаковым содержанием минерального порошка при соотношении порошков: вяжущее, равном 2:1 (табл. 14 и 15).

Как видно из представленных данных, ПБВ 90/130 характеризуется условным показателем вязкости, в 1,7 раза большим, чем битум более вязкой марки БНД 60/90 (табл. 14), а T_p вяжущего и асфальтовяжущего выше соответственно на 9 °С и 11 °С.

Таблица 14.

Показатели теплостойкости и вязкости битума, ПБВ и асфальтовяжущих

Наименование образца	Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	Температура размягчения, °С	Вязкость, C_{10}^{60} при 60 °С, с
Битум БНД 60/90 + минеральный порошок	-	73	-
Битум БНД 60/90	68	49	603
ПБВ 90/130 + минеральный порошок	-	84	-
ПБВ 90/130	105	58	1054

Таблица 15.

Показатели упруго-вязко-пластических характеристик асфальтовяжущего на основе битума и ПБВ при 50 °С

Наименование показателей	Битум марки БНД 60/90	Полимерно-битумное вяжущее марки ПБВ 90/130
Наибольшая пластическая (ньютоновская) вязкость $\eta_0 10^{-4}$, Па·с	8,5	54,0
Наименьшая пластическая вязкость $\eta_m 10^1$, Па·с	4,9	23,7
Динамический (бингамовский) предел текучести при сдвиге, R_{K2} , Па	4,4	24,0
Равновесный модуль упругости G_m , Па при $P < R_{K2}$	139	463
Период релаксации напряжений η_0/G_m , с	611	1166

Анализ реологических характеристик показывает, что вязкость и упругость асфальтовяжущего на основе ПБВ 90/130 выше в 5÷6 раз, чем на основе битума марки БНД 60/90, а прочность выше в три с лишним раза.

Рассмотренные данные позволяют предполагать значительно более высокую сдвигоустойчивость полимерасфальтобетона по сравнению с асфальтобетоном, что и подтвердилось после 9 лет эксплуатации полимерасфальтобетонного покрытия на МКАД.

Важнейшее значение для долговечной работы покрытия имеют усталостные свойства материала.

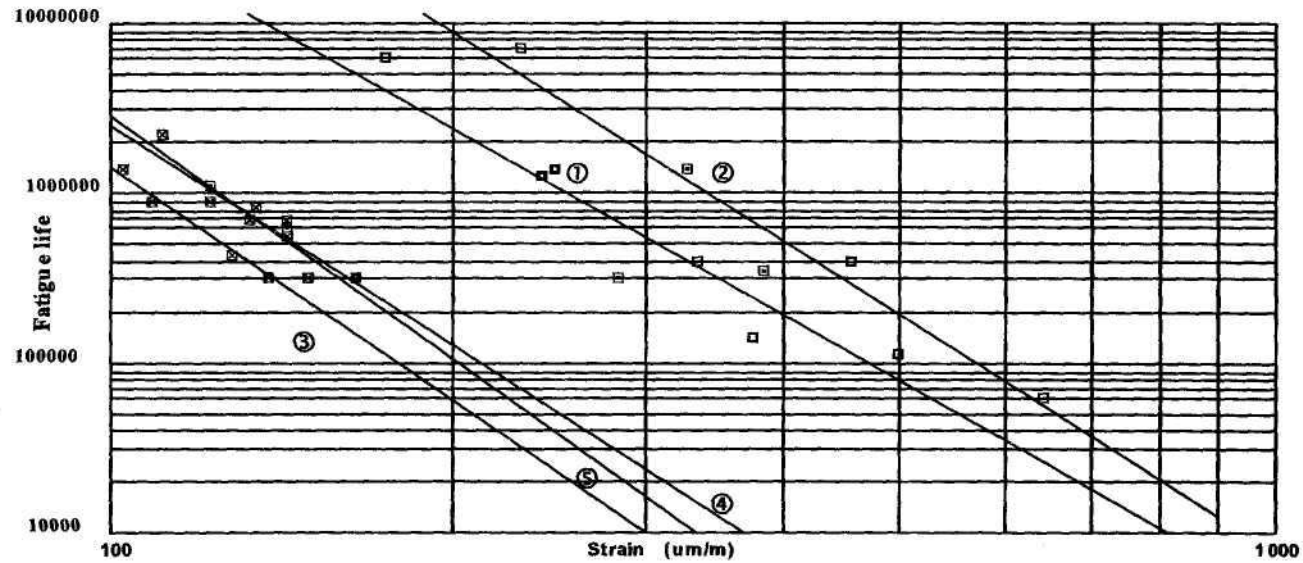
В рамках совместных работ ведущим сотрудником фирмы «Шелл» Вильямом Вонком проведены исследования усталостных свойств полимерасфальтобетонов на основе ПБВ 90/130, содержащего 3,5% блоксополимера типа СБС марки Кратон D 1101 и 9% масла марки И-40А, приготовленного в Союздорнии, ПБВ, содержащего 5% Кратона D 1101 без пластификатора, приготовленного на фирме «Шелл», и асфальтобетона на основе вязкого битума марки В 80 (рис. 24).

Измерения проведены в режиме постоянной амплитуды деформации, наиболее близком условиям эксплуатации дороги.

Как видно из приведенных данных, число циклов до разрушения образца-балочки в случае ПБВ 90/130 в десятки раз выше, чем для асфальтобетона и полимерасфальтобетона на ПБВ без пластификатора.

В этой же лаборатории В. Вонком установлена взаимосвязь между наибольшей ньютоновской вязкостью η_0 вяжущих (битумов и ПБВ) и колееобразованием асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов равной плотности.

Strain Vergelijk Soyuzdorni en B80



1 - Soyuzdorni 10 °C; 2 - Soyuzdorni 20 °C; 3 - B80 blanco 10 °C; 4 - B80 + 5%D - 1101 10 °C; 5 - B80 + 5%D - 1101 20 °C

Рис. 24. Влияние амплитуды деформации на число циклов до разрушения образцов асфальтобетона и полимерасфальтобетона.

На рис. 25 показано, что полимерасфальтобетоны характеризуются существенно большей устойчивостью к колееобразованию, чем асфальтобетоны, так как η_0 ПБВ достигает таких высоких значений, которые недостижимы и не наблюдаются у дорожных битумов.

Тот факт, что η_0 хорошо, практически функционально связана с устойчивостью покрытия к колееобразованию, позволяет заключить, что это свойство можно регулировать, увеличивая содержание полимера в ПБВ.

На рис. 26 приведены реологические кривые для песчаного асфальтобетона на битумах марок БН и БНД и полимерасфальтобетона на основе КОВ 60, содержавшего 4,2% ДСТ в гудроне.

Показано, что наличие эластичной структурной сетки даже в очень маловязкой системе приводит к тому, что ее истинная прочность R_{K2} при 50 °С существенно выше, чем у асфальтобетона на вязком битуме типа БНД.

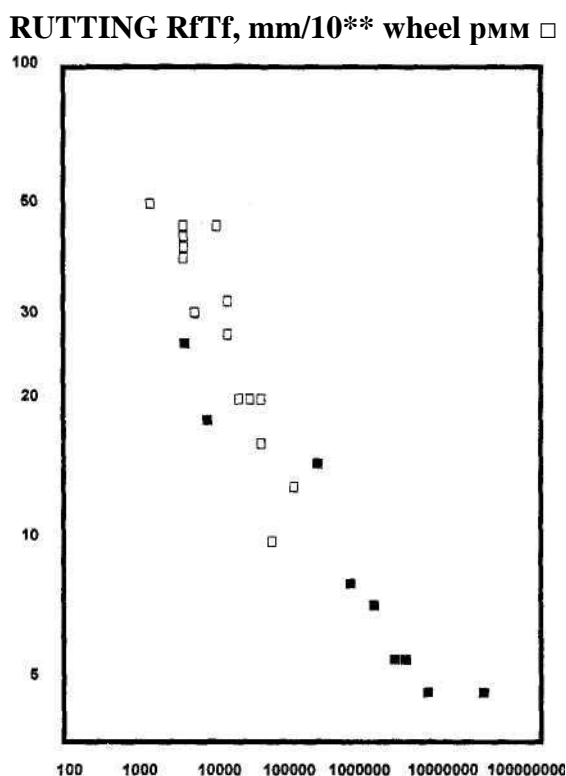
При этом корреляционные зависимости, приведенные на рис. 27, между пределом прочности при одноосном сжатии при 50 °С R_{50} и R_{K2} свидетельствуют о том, что даже при низком R_{K2} , например, равном 0,5 МПа, достигается высокий показатель R_{50} , равный 9,5 Па.

Такое значение R_{K2} для асфальтобетона на битумах марок БНД достигается при $R_{50} = 1,25$ МПа, а марок БН - 1,65 МПа.

Таким образом показано, что для обеспечения требуемой сдвигоустойчивости норма на показатель R_{50} для полимерасфальтобетонов может быть существенно снижена.

Shell - W. Vonk

The correlation between t_{i0} and rutting rate in the LTT as obtained with different wearing courses of the same dense asphaltic concrete, but with different binders, is shown in Figure 4



ZERO SHEAR VISCJSITY, Pa.s

Figure 4. Rutting rate in LTT vs. zero shear viscosity of Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) aged binders.

Рис. 25. Взаимосвязь наибольшей ньютоновской вязкости вяжущих и глубины колеи в асфальтобетоне и полимерасфальтобетоне:
□ - битум; ■ - ПБВ.

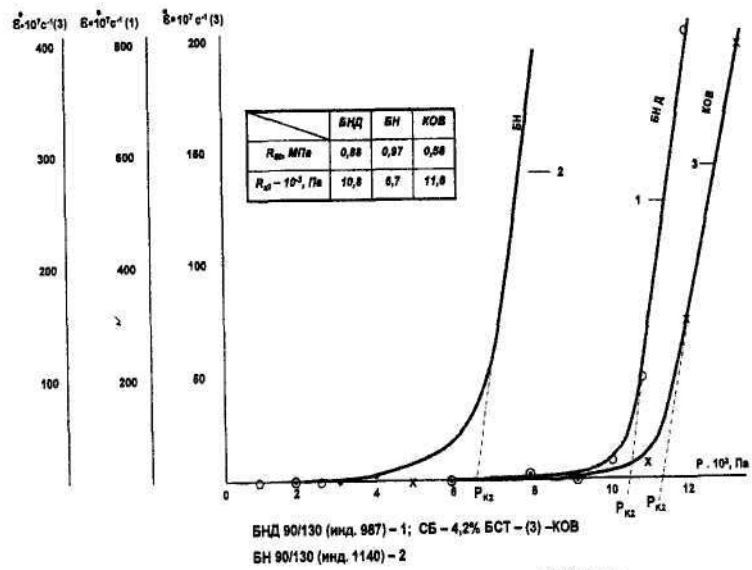


Рис.26. Реологические кривые (50°C).

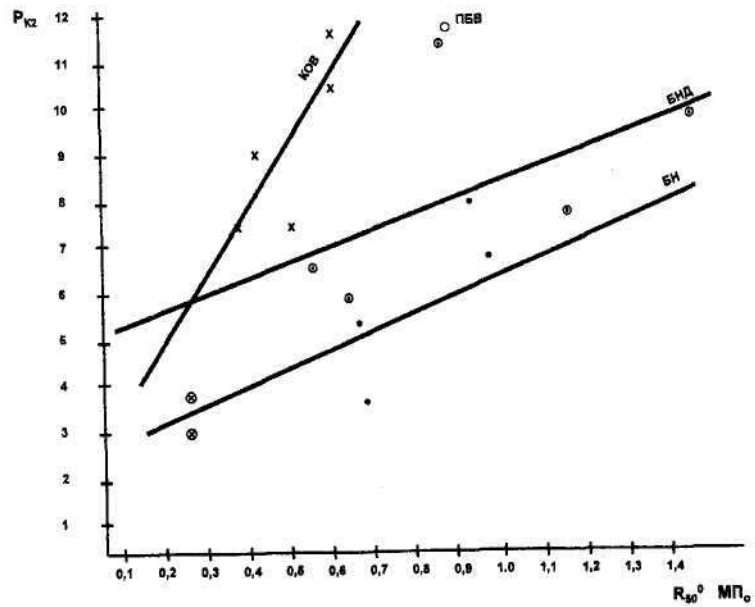


Рис.27. Корреляционные зависимости (50°C):
 БН - •; МГО - ⊗; ПБВ - ⊙; БНД - ⊙; КОВ - ×.

2.3. Влияние вязкости ПБВ и гранулометрического состава минеральной части смесей на свойства полимерасфальтобетона

В целях разработки нормативных требований к полимерасфальтобетонным смесям, приготавливаемым с применением ПБВ на основе СБС разных марок, представленных в ГОСТ Р 52056-2003, и учета влияния разных гранулометрических составов смесей, регламентированных в ГОСТ 9128-97, приготовлены ПБВ марок ПБВ 300, ПБВ 200, ПБВ 130, ПБВ 90, ПБВ 60, ПБВ 40 и определены показатели свойств полимерасфальтобетонных смесей типов А, Б, В, Г, Д. Для сопоставления испытывали асфальтобетонные смеси всех типов на битумах марок БНД 60/90 и БНД 200/300.

Результаты испытаний вяжущих приведены в таблице 16, а смесей - в таблице 17.

Судя по представленным данным, преимущества плотного полимерасфальтобетона в части сдвигоустойчивости (C_{50} и $tg \varphi$) по сравнению с плотным асфальтобетоном проявляются, несмотря на то, что суммарные показатели пределов прочности при сжатии полимерасфальтобетонов ниже, чем для асфальтобетонов.

За суммарный показатель прочности принимаем сумму $\Sigma R = R_{20} + R_{50}$, так как сдвиги могут образовываться и при 20 °С.

За суммарный показатель сдвигоустойчивости принимаем $P = 2tg \varphi + c$.

Как видно из таблицы 17 для плотного полимерасфальтобетона типа Б на основе ПБВ 60 ($\Pi_{25} = 98$) $\Sigma R = 5,61$ МПа, меньше, чем для асфальтобетона типа Б на битуме марки БНД 60/90 ($\Pi_{25} = 68$) $\Sigma R = 6,4$ МПа, а P больше - 2,18 и 2,02 соответственно. При этом показатель $tg \varphi$ полимерасфальтобетона выше, чем для асфальтобетона.

Аналогичная картина наблюдается и при сопоставлении наиболее пластичных песчаных полимерасфальтобетонов и асфальтобетонов, в том числе и в части показателя $tg \varphi$.

В общем ΣR для асфальтобетонов выше в среднем на 12%, а P ниже на 9%.

Эти данные позволяют считать, что нормы по R_{50} и R_{20} для полимерасфальтобетона могут быть снижены по сравнению с нормами для асфальтобетона минимум на 10%.

Полимерасфальтобетон заметно отличается от асфальтобетона меньшей теплочувствительностью или, что то же самое, большей температурной устойчивостью, то есть его свойства меньше меняются при изменении температуры.

Этот факт хорошо прослеживается при анализе соотношения R_0/R_{50} .

Как видно из таблицы 17, для смесей типа А, Б, В, Г, Д этот показатель при применении ПБВ 300 вместо БНД 200/300 лучше на 41%, 50%, 39%, 33%, 37% соответственно, в среднем лучше на 40%; при применении ПБВ 60 взамен БНД 60/90 лучше на 32%, 9%, 19,0%, 31,0%, 46,0% соответственно, в среднем лучше на 27%.

Таким образом, использование данного соотношения является простейшим способом выявления различия между полимерасфальтобетоном и асфальтобетоном.

Таблица 16.

Значение показателей физико-механических свойств ПБВ и битумов

№ п/ п	Наименование образца	Содержание, %		Глубина проникания иглы 0,1 мм, при		Растяжимость, см, при		Температура, °С			Изменение после прогрева 163 °С в течение 5 ч, 4 мм		Сцепление в баллах, с		Эластичность, %, при		T _{разм}	T _{разм} - T _{хр}	T _p - T _{хр}
		ДСТ-30Р-01 п. 135	И 40А	25 °С	0 °С	25 °С	0 °С	раз- мяг- чения	хруп- кости	вспыш- ки	мас- сы, %	темп, разм., °С	мра- мором	пес- ком	25 °С	0 °С	П ₂₅	П ₂₅	Д ₂₅
1	БНД 60/90	-	-	68	32	69	4	51	-15	279	0,03	2	5	2	-	-	0,72	0,53	0,52
2	БНД 200/300	-	10	204	72	100	23	43	-25	270	0,06	0	5	1	-	-	0,21	0,09	0,18
3	ПБВ 300	3	30	372	283	33	47	57	-43	243	0,2	-3	5	2	99	98	0,15	0,04	0,42
4	ПБВ 200	3	21	237	152	42	53	58	-37	249	0,2	-3	5	2	100	91	0,24	0,09	0,50
5	ПБВ 130	3	13	139	90	42	32	59	-32	257	0,06	0	5	1	95	85	0,42	0,19	0,64
6	ПБВ 90	3	10	122	58	44	21	63	-30	262	0,08	2	5	1	93	82	0,51	0,27	0,75
7	ПБВ 60	3	6	98	45	46	16	67	-21	283	0,03	0	5	3	92	73	0,68	0,47	1,0
8	ПБВ 40	3	2	55	28	20	12	70	-16	273	0	0	5	3	82	72	1,27	0,98	2,7

Таблица 17.

**Показатели физико-механических свойств полимерасфальтобетонов
оптимальных составов на разных марках ПБВ**

№ смеси	Тип смеси	Марка вяжущего	Содержание фракции мельче 0,071 мм, %	Отношение, МП/В	Пористость минеральной части, $V_{пор}^0$, %	Остаточная пористость, V_0 , %	Объем замкнутых пор, $V_{з.п.}$, %	Водонасыщение, W , %	Предел прочности при сжатии, МПа, при			R_0/R_{50}	Коэффициент водостойкости, $K_{вод}$	Коэфф. длительной водост., $K_{дл}$	ε_{50}	Вдавливание штампa, мм H_{50}	C_{50}	tg φ	r_0
									50 °С	20 °С	0 °С								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	А	ПБВ 300	12,64	4,25	13,1	3,8	5,26	3,6	1,23	2,0	4,02	3,28	0,95	0,90	7	2,15	0,27	0,89	3,1
2		БНД 200/300	12,64	4,25	12,1	2,6	33,5	1,7	0,9	3,65	5,0	5,6	0,95	0,9	4	2,22	0,25	0,86	4,3
3		ПБВ 200	11,2	3,75	12,1	2,6	11,5	2,3	1,18	2,2	4,29	3,64	0,96	0,90	12	2,07	0,32	0,89	3,35
4		ПБВ 130	10	3,25	13,1	3,8	34,2	2,5	1,05	2,75	4,38	4,17	0,95	0,90	15	2,01	0,35	0,9	3,42
5		ПБВ 90	9,3	2,73	13,7	3,5	42,9	2,0	1,48	3,54	6,95	4,7	0,97	0,90	21	1,1	0,39	0,92	3,5
6		ПБВ 60	7,86	2,5	13,6	4,4	45,5	2,4	1,3	3,8	7,7	5,92	0,95	0,88	18	1,03	0,42	0,92	3,9
7		БНД 60/90	7,86	2,5	13,1	3,2	13,7	2,76	1,2	5,3	10,3	8,7	0,94	0,88	11	1,15	0,36	0,88	5,3
8		ПБВ 40	6,27	2,11	13,1	4,2	35,7	2,7	1,35	3,46	6,75	5,0	0,95	0,87	16	1,05	0,42	0,92	4,4
9		ПБВ 300	12,85	3,54	13,4	3,0	30	2,1	1,32	2,03	4,23	3,2	1,02	0,94	6	3,02	0,32	0,83	3,2
10	Б	БНД 200/300	12,85	3,54	14,5	3,43	25,9	2,5	0,88	3,81	5,65	6,42	0,93	0,89	4	3,27	0,32	0,82	4,2
11		ПБВ 200	11,4	3,33	14,1	3,7	35	2,4	1,34	2,24	4,3	3,2	1,1	0,95	7	2,7	0,34	0,84	3,47
12		ПБВ 130	10,27	2,83	13,7	3,1	16	2,6	1,23	2,93	5,5	4,47	0,96	0,90	9	2,35	0,37	0,86	3,53
13		ПБВ 90	8,86	2,44	14,5	4,2	28,6	3,0	1,42	4,21	6,8	4,8	0,94	0,90	10	1,93	0,41	0,87	3,68
14		ПБВ 60	7,46	2,14	15,4	4,6	36,96	2,9	1,43	4,18	7,6	5,3	0,98	0,90	10	2,0	0,42	0,88	4,12
15		БНД 60/90	7,46	2,14	15,3	4,1	4,8	3,9	1,3	5,1	7,6	5,8	0,96	0,90	4	1,7	0,32	0,85	5,2
16		ПБВ 40	6,77	2,0	13,8	4,6	38,3	2,8	1,7	3,75	7,43	4,37	0,97	0,90	12	1,5	0,42	0,88	4,45

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
17	В	ПБВ 300	17,66	4,0	16,8	3,3	48,5	1,7	1,35	2,54	4,5	3,3	0,95	0,90	4	2,32	0,37	0,80	2,7
18		БНД 200/300	17,66	4,0	14,9	2,57	10,9	2,29	0,98	3,3	5,3	5,4	0,97	0,92	2	2,67	0,36	0,8	3,2
19		ПБВ 200	13,37	3,47	15	3,8	36,8	2,4	1,2	2,6	5,05	4,2	0,93	0,85	5	2,12	0,40	0,82	2,7
20		ПБВ 130	12	3,33	14,3	3,8	36,8	2,4	1,25	3,06	6,0	4,8	0,93	0,87	7	2,04	0,42	0,84	2,84
21		ПБВ 90	10,49	2,7	15,8	4,0	57,5	и	1,43	3,72	7,33	5,12	0,98	0,90	8	1,94	0,43	0,87	3,09
22		ПБВ60	9,72	2,66	15,0	4,7	25,53	2,9	1,4	4,3	8,18	5,84	0,98	0,90	10	0,97	0,44	0,88	3,55
23		БНД 60/90	9,72	2,66	15,6	4,7	35,5	3,03	1,38	4,65	10,0	7,2	0,92	0,88	5	0,97	0,42	0,87	5,6
24		ПБВ 40	8,4	2,38	14,1	4,3	44,2	2,4	1,93	5,51	9,8	5,08	0,98	0,87	12	0,91	0,42	0,89	3,72
25	Г	ПБВ 300	25,38	2,63	22,4	2,4		2,36	1,33	2,25	4,02	3,02	1,07	0,96	7	2,59	0,37	0,64	3,2
26		БНД 200/300	25,38	2,63	22,7	2,79	89,96	0,28	0,95	2,38	4,29	4,52	0,94	0,83	4	2,76	0,34	0,62	4,7
27		ПБВ 200	22,7	2,5	21,7	4,8	62,5	1,8	1,32	2,65	5,27	4,0	1,0	0,92	8	2,16	0,38	0,66	3,4
28		ПБВ 130	20,9	2,125	20,6	3,4	14,7	2,9	1,5	3,16	6,05	4,03	0,96	0,90	12	1,89	0,42	0,72	3,6
29		ПБВ 90	19,4	1,97	20,5	4,1	56,1	1,8	1,46	4,22	7,05	4,8	0,95	0,88	16	1,24	0,47	0,78	3,8
30		ПБВ 60	17,82	1,8	20,1	4,5	44,4	2,5	1,8	4,4	8,4	4,7	0,92	0,87	17	0,89	0,46	0,82	4,2
31		БНД 60/90	17,82	1,8	19,7	3,2	43,8	1,8	1,65	5,4	11,2 5	6,8	0,96	0,90	9	0,91	0,36	0,74	5,3
32		ПБВ 40	16,5	1,57	19,8	4,7	53,3	2,1	1,9	4,5	8,5	4,5	0,98	0,90	17	0,86	0,46	0,84	4,7
33	Д	ПБВ 300	26,76	4,375	20,4	3,3	51,5	1,6	1,1	2,24	3,29	3,26	0,93	0,90	4	2,27	0,46	0,76	3,0
34		БНД 200/300	26,76	4,375	19,1	1,76	60,2	0,7	0,95	2,98	4,96	5,22	0,98	0,94	2	2,67	0,40	0,72	5,2
35		ПБВ 200	25,2	4,49	21,8	5,2	32,7	3,5	1,1	2,42	3,31	3,63	1,0	0,90	6	1,96	0,47	0,77	3,2
36		ПБВ 130	23,28	4,1	20,86	4,7	45,5	2,5	1,34	2,87	5,64	4,06	0,97	0,90	8	1,57	0,54	0,79	3,4
37		ПБВ 90	19,2	3,5	19,2	3,5	20	2,8	1,3	3,7	5,7	4,4	0,95	0,90	10	1,63	0,54	0,82	3,6
38		ПБВ 60	17,71	3,14	19,4	4,2	42,9	2,4	1,37	4,4	6,92	5,0	0,93	0,90	9	2,6	0,55	0,82	3,9
39		БНД 60/90	17,71	3,14	20,4	2,9	17,2	2,4	1,26	5,5	11,5	9,2	0,96	0,90	2	2,8	0,52	0,80	5,1
40		ПБВ 40	16,32	2,94	19,4	4,6	26	3,4	1,25	3,5	7,4	5,9	0,94	0,90	15	1,3	0,56	0,82	3,9

Указанное отличие полимерасфальтобетона от асфальтобетона в части температурной устойчивости, хорошо проиллюстрировано на рис. 28.

Для полимерасфальтобетона угол наклона температурной зависимости прочности к оси температур заметно меньше.

Данные, представленные в таблице 17, косвенно свидетельствуют о большей деформативности полимерасфальтобетона по сравнению с асфальтобетоном, так как предел прочности при 0 °С для него всегда ниже.

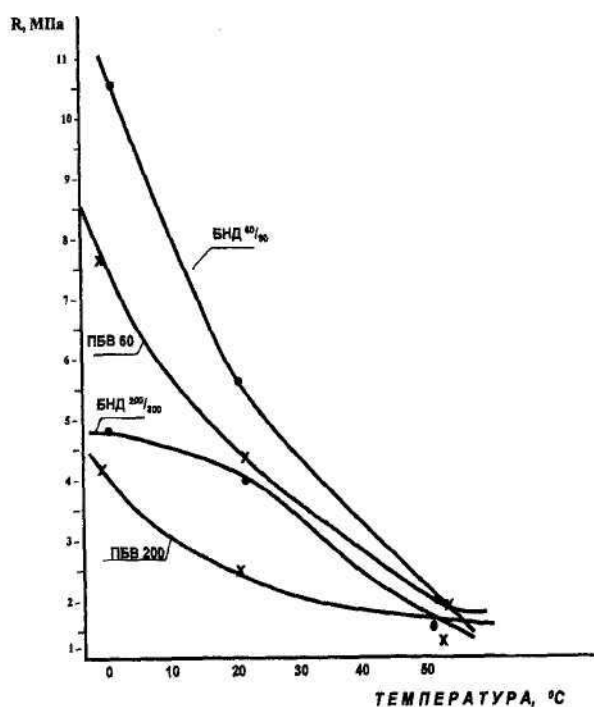


Рис. 28. Температурные зависимости прочности полимерасфальтобетона и асфальтобетона типа А:

• - БНД; x - ПБВ.

Обращает на себя внимание большой объем замкнутых пор в полимерасфальтобетоне, который при применении ПБВ 90 и ПБВ 130 независимо от типа смеси достигает значений 45-55%, что позволяет предполагать высокую водо- и морозостойкость после длительной эксплуатации покрытий с его применением.

Нельзя не отметить необходимость повышения по отношению к требованиям ГОСТ 9128 содержания фракции менее 0,071 мм в составе полимерасфальтобетонных смесей типов В, Г и Д при применении ПБВ марок ПБВ 200 и ПБВ 300, что связано с менее вязкой дисперсионной средой этих вяжущих.

Эти результаты учтены при разработке требований к зерновому составу полимерасфальтобетонных смесей в зависимости от применяемых марок ПБВ.

2.4. Дополнительные методы испытания полимерасфальтобетона, позволяющие установить его преимущества перед асфальтобетоном

Оценивая в комплексе качество полимерасфальтобетона, можно заключить, что он

отличается от асфальтобетона существенными преимуществами в части деформативности, трещиностойкости, сдвигоустойчивости и долговременной прочности.

В связи с этим для упрощения обоснования необходимости его внедрения и регламентирования его качества разработаны простые, пригодные для использования в заводских лабораториях, методы оценки трещиностойкости, сдвигоустойчивости и долговременной прочности (показатель эластичности).

При этом трещиностойкость предлагается оценивать при отрицательных температурах в отличие от стандартного метода, принятого для асфальтобетона и осуществляемого при 0 °С;

сдвигоустойчивость - методом вдавливания штампа в условиях незначительного разрушения материала при небольших деформациях - в пределах допустимых по критерию ровности покрытия;

эластичность - как оценку долговременной прочности при многократном воздействии нагрузки, обусловленной высокой эластичностью ПБВ, то есть способностью к большим по величине обратимым деформациям.

2.4.1. Метод определения температуры трещиностойкости полимерасфальтобетона

Наиболее показательной можно считать ту оценку трещиностойкости материала, которая наглядно демонстрирует область температур, при которых может появиться трещина на покрытии, -показатель температура хрупкости $T_{хр}$, а, следовательно, и ту область температур, при которых появление температурных трещин, связанных с охлаждением покрытия, маловероятно, - показатель температура трещиностойкости $T_{тр}$.

Очевидно, что трещина на покрытии появляется, когда пленки вяжущего переходят в хрупкое состояние и покрытие прогибается под колесом автомобиля.

При этом возникают напряжения в растянутой зоне покрытия и в результате образуются трещины, т.к. материал не может компенсировать эти напряжения соответствующими деформациями.

В связи с тем, что более 90% вяжущего распределяется по поверхности минерального порошка, предложено выделять из полимерасфальтобетонной или асфальтобетонной смеси фракцию 1,25-0,63 мм и готовить из нее при стандартном уплотнении образцы-плитки.

Для этой цели в стандартной форме-семерке изготавливают диск толщиной 4 мм и диаметром 71,4 мм. От диска нагретым ножом отделяют 4 части так, чтобы в результате получилась прямоугольная пластина размером 50×50 мм.

Пластину разделяют на две части, получая два образца - плитки размером 50×25×4 мм.

Образцы в количестве 6 штук выдерживают в морозильной камере в течение 30 минут, затем извлекают и изгибают на специальном шаблоне (рис. 29), начиная с 0 °С.

После каждого испытания температуру понижают на 5 °С и вновь проводят испытание, пока хотя бы на одной из плиток не появится трещина. Эта температура принимается за $T_{хр}$, а $T_{тр}$ принимается выше на 5 °С.

Надо отметить, что шаблон подобран таким образом, чтобы прогиб плиточки был равен 0,62 мм - прогибу, близкому по величине к прогибу под колесом автомобиля на дорожной одежде с эквивалентным модулем деформации, равным 230 МПа.

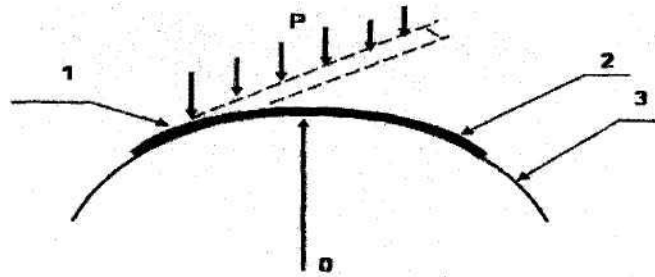


Рис. 29. Схема испытания на трещиностойкость:
1 - отметка на шаблоне; 2 - образец плиточка;
3 - шаблон металлический.

Усилие (Р) погружения - необходимое для полного соприкосновения образца с шаблоном. Достигается вручную.

О - центр шаблона, внутренний радиус кривизны 50 см.

В целях установления взаимосвязи между температурой хрупкости вяжущего по Фраасу - T_{xp}^{ϕ} и температурой хрупкости и трещиностойкости полимерасфальтобетона приготовили битумы и ПБВ разных марок, результаты испытания которых приведены в таблице 18.

Для того, чтобы выяснить, как влияет толщина пленки вяжущего на температуру хрупкости полимерасфальтобетона и асфальтобетона, определяли T_{xp} для образцов из бинарных смесей по изложенной выше методике.

Как видно из рис. 30, в пределах концентраций асфальтовяжущего, нормированного в ГОСТ 9128, T_{xp} практически не зависит от толщины пленки вяжущего и только при содержании минерального порошка более 80% резко ухудшается (МП : Б = 4).

Этот факт позволяет предположить наличие единой корреляционной зависимости $T_{тр}$ от T_{xp}^{ϕ} независимо от типа смеси.

В таблице 19 приведены значения T_{xp}^{ϕ} , T_{xp} и $T_{тр}$ для разных типов смесей на различных вяжущих, где видно, что T_{xp} и $T_{тр}$ практически не зависят от типа смеси, а определяются лишь значением T_{xp}^{ϕ} вяжущего.

Таблица 18.

Значение показателей физико-механических свойств битумов и ПБВ

№ п/п	Наименование образца	Глубина проникания иглы 0,1 мм, при		Растяжимость, см, при		Температура, °С			Изменение после прогрева 163 °С, 5 ч, 4 мм		Сцепление в баллах, с					Эластичность, %, при		Интервал работоспособности (Т _{разм} - Т _{хр}) °С	Т _{разм./П₂₅}	Т _{разм./П₂₅}	Т _{разм./Д₂₅}
		25 °С	0 °С	25 °С	0 °С	размягчения	хрупкости	вспышки	массы, %	температуры разм., °С	вольским песком	мрамором	гранитом	габродиабазом	сычев. песком	25 °С	0 °С				
1	БНД 60/90 инд.1928	63	30	> 100	5	49	-17	274	0	6 (55)	2	4	2	2	4	-	-	66	0,78	0,51	0,32
2	БНД 90/130 (БНД 60/90+5% И-40А) инд.1928	139	55	> 100	10	47	-24	279	0,19	10 (57)	3	3	1	2	1	-	-	71	0,34	0,17	0,23
3	БНД 130/200 (БНД 60/90+7% И-40А) инд.1928	170	61	> 100	11	45	-22	285	0,17	7 (52)	3	3	1	2	1	-	-	67	0,26	0,14	0,23
4	БНД 200/300 (БНД 60/90+10% И-40А) инд.1928	212	81	> 100	20	41	-32	271	0,17	7 (48)	4	3	2	4	3	-	-	73	0,19	0,04	0,09
5	ПБВ 60 (1928+3%ДСТ п.135+6% И-40А)	100	53	25	17	56	-22	264	0,2	7 (63)	4	3	2	2	2	78	70	78	0,56	0,34	1,36
6	ПБВ 90 (1928+3%ДСТ п.135+10%И-40А)	136	68	42	15	54	-25	254	0,3	8 (62)	4	4	1	1	1	96	76	79	0,40	0,21	0,69
7	ПБВ 130 (1928+3%ДСТ п.135+13%И-40А)	152	79	46	24	58	-32	266	0,16	3 (61)	3	3	1	1	1	93	85	90	0,38	0,17	0,57
8	ПБВ 200 (1928+3%ДСТ п.135+21%И-40А)	231	79	34	38	58	-38	254	0,2	-4 (54)	3	2	1	1	1	97	92	96	0,25	0,09	0,59

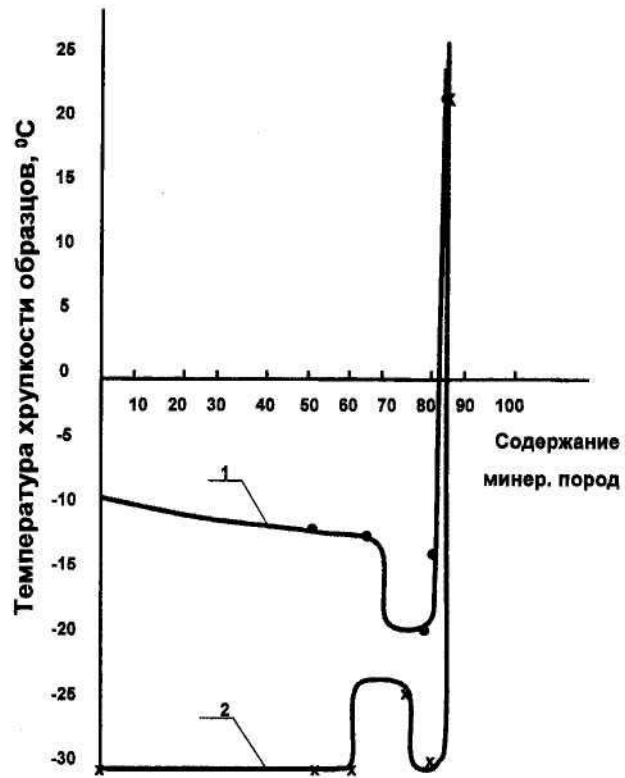


Рис. 30. Зависимость температуры хрупкости образцов из бинарных смесей на шаблоне ($R_{III} = 50$ см) от содержания минерального порошка:
 1 — • — БНД 60/90; 2 — × — ПБВ 90.

**Определение температуры
хрупкости и трещиностойкости асфальтобетонных
и полимерасфальтобетонных образцов из смесей**

№ п/п	Марка вяжущего в смеси	Тип смеси	Температура хрупкости вяжущего по Фраасу, °С	Температура хрупкости образцов из смеси, °С	Температура трещиностойкости образцов из смеси, °С
1	БНД 60/90	А	-17	-20	-15
2		Б		-20	-15
3		Д		-20	-15
4	БНД 90/130	А	-24	-25	-20
5		Б		-20	-15
6		Д		-25	-20
7	БНД 130/200	А	-22	-25	-20
8		Б		-25	-20
9		Д		-25	-20
10	БНД 200/300	А	-32	-30	-25
11		Б		-30	-25
12		Д		-35	-30
13	ПБВ 60	А	-22	-25	-20
14		Б		-25	-20
15		Д		-25	-20
16	ПБВ 90	А	-25	-30	-25
17		Б		-20	-15
18		Д		-30	-25
19	ПБВ 130	А	-32	-35	-30
20		Б		-35	-30
21		Д		-35	-30
22	ПБВ 200	А	-38	-40	-35
23		Б		-35	-30
24		Д		-40	-35

Взаимосвязь между температурами хрупкости ПБВ и битумов по Фраасу (T_{xp}^{ϕ}) и температурами трещиностойкости $T_{тр}$ полимерасфальтобетона и асфальтобетона на основе данных вяжущих описывается следующей общей линейной зависимостью:

$$T_{тр} = 0,986 \times T_{xp}^{\phi} + 0,3552$$

$R^2 = 0,91$; R^2 - коэффициент парной корреляции.

Предложенный метод может быть использован и для определения T_{xp}^{ϕ} вяжущих.

Получена корреляционная зависимость с высоким значением величины достоверности аппроксимации, равная 0,915 и коэффициентом парной корреляции $R^2 = 0,99$.

$$T_{xp}^{\phi} = 1,1224 \times T_{тр} + 0,8584.$$

На основании проведенных исследований по данному разделу получены следующие выводы.

1. Обоснованы условия деформирования, размеры образцов и размер фракции полимерасфальтобетонных и асфальтобетонных смесей для определения показателей температуры хрупкости (T_{xp}) и температуры трещиностойкости ($T_{тр}$) полимерасфальтобетона и асфальтобетона.

2. Определены T_{xp} и $T_{тр}$ полимерасфальтобетонов и асфальтобетонов типов А, Б, Д, приготовленных на основе ПБВ и битумов разных марок.

3. Установлена достаточно тесная корреляция между температурой хрупкости вяжущих, определенной по методу Фрааса (T_{xp}^{ϕ}) в соответствии с ГОСТ 11507, и T_{xp} полимерасфальтобетона и асфальтобетона. При этом коэффициент парной корреляции лежит в пределах 0,86-0,94.

4. Сформулирован критерий назначения норм на величину показателя температуры трещиностойкости $T_{тр}$ полимерасфальтобетона, обоснованный условиями эксплуатации покрытия при отрицательных температурах. $T_{тр}$ должна быть не выше температуры наружного воздуха наиболее холодных суток района эксплуатации покрытия в соответствии с действующим СНиП 23.01.99.

5. Показана возможность обеспечения установленных норм на $T_{тр}$ за счет применения для устройства покрытий дорог, мостов и аэродромов полимерасфальтобетонов с использованием ПБВ по ГОСТ Р 52056-2003.

6. Показано существенное преимущество полимерасфальтобетона на основе ПБВ по ГОСТ Р 52056-2003 по показателю трещиностойкости $T_{тр}$ по сравнению с асфальтобетоном на основе дорожных битумов по ГОСТ 22245-90.

7. Показана возможность использования показателя $T_{тр}$ или T_{xp} не только для нормирования требуемой трещиностойкости полимерасфальтобетона, но и для контроля качества кернов из готового покрытия. При этом на величину показателя трещиностойкости влияет не только качество вяжущего, но и состав смеси.

8. Установлена тесная корреляция между T_{xp}^{ϕ} вяжущих и T_{xp} , определенной по предлагаемому методу ($R^2 = 0,99$), что позволяет предположить возможность использования этого метода для упрощенного и приближенного определения T_{xp}^{ϕ} при отсутствии прибора Фрааса.

9. Установлено резкое ухудшение показателей T_{xp} и $T_{тр}$ в асфальтовяжущем при содержании в нем минерального порошка $фр. < 0,071$ мм более 80% по массе.

2.4.2. Метод определения сдвигоустойчивости полимерасфальтобетона

Существующий стандартный метод определения и нормирования сдвигоустойчивости асфальтобетона по показателям $tg \phi$ и C основан на получении указанных характеристик в области напряжений, при которых материал полностью разрушен, то есть находится в нерабочем состоянии.

По нашему мнению, более объективным способом была бы методика, позволяющая оценивать это качество материала в области напряжений, приводящих к незначительному разрушению их структуры, то есть в условиях, близких к реальным.

Такая позиция тем более обоснована, когда мы говорим о полимерасфальтобетоне, характеризующемся высокой скоростью разрушения структуры при напряжениях, превышающих его предел текучести $R_{к2}$.

В связи с этим нам представился наиболее обоснованным для оценки сдвигоустойчивости метод вдавливания штампа, широко применяемый и стандартизованный для литых, наиболее пластичных асфальтобетонов как в России, так и за рубежом.

При этом предложено проводить испытания при 50 °С образцов-семерок, изготовленных в цилиндрической стандартной форме при стандартном уплотнении (ГОСТ 12801), и испытывать их после извлечения из формы, то есть максимально упростить этот

метод в целях создания возможности проводить испытания в обычных заводских лабораториях на стандартном оборудовании (см. рис. 31).

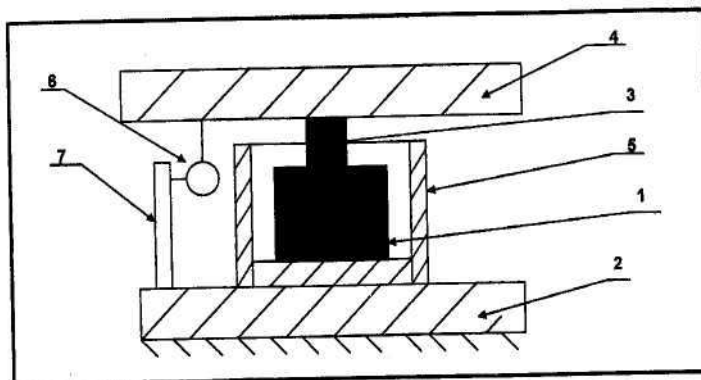


Рис. 31. Схема испытания на глубину вдавливания штампа:

- 1 - образец диаметром 71,4 мм и высотой (71,4±0,15) мм;
- 2,4 - нижняя и верхняя плиты пресса;
- 3 - штамп круглый диаметром 25,2 мм высотой 30,0 мм;
- 5 - емкость для испытания, площадь дна не менее 100 см²;
- 6 - индикатор; 7 - стойка.

В таблице 20 приведены результаты испытаний по определению вдавливания штампа **h**, которые доказывают, что действительно возможно проводить это испытание на образце вне формы при 50 °С и даже при 60 °С, что данный метод более чувствителен при изменении температуры испытания, вязкости вяжущего и его типа, типа смеси, чем предел прочности при одноосном сжатии, а судя по данным, приведенным в таблице 17, - более чувствителен, чем показатели *tg φ* и *C*.

Так, если **R** при изменении температуры испытания меняется в среднем на 41%, то **h** - на 65%.

При этом с повышением температуры испытания с 50 °С до 60 °С **R** падает в среднем на 30%, а **h** - на 70%.

Сопоставление показателя **h** с *tg φ* и *C* при 50 °С показывает, что для смеси типа А изменение марки ПБВ с ПБВ 40 до ПБВ 3000 приводит к изменению **h** от 1,05 мм до 2,15 мм, т.е. на 105%, а *tg φ* - на 3%, *C* - на 36%; для смесей типа Б, соответственно **h** меняется на 101%, *tg φ* - на 5,7%, *C* - на 29%.

В таблицах 17 и 21 представлены значения **h**₅₀ для всех типов смеси и марок ПБВ.

Наиболее сдвигоустойчивыми проявили себя смеси типов А и Г на основе ПБВ 40 и ПБВ 60, как и следовало ожидать.

Таблица 20.

Результаты испытания полимерасфальтобетона на вдавливание штампа

№ п/п	Тип смеси	Марка ПБВ	Температура испытания t, °С	R _t , МПа	(R ₄₀ - R ₆₀), % ΔR	Вдавливание штампа 5 см ² h, мм				Примечание	
						В образец в форме	Δh-ΔR, %	В образец без формы	h ₆₀ - h ₄₀ , % Δh		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	А	ПБВ 300	40	1,35		-		2,51			
			50	1,23		-		3,14			
			60	1,0	26	-	-3	3,1	23	Трещина	

										через 3 мин.
ПБВ 130	40	1,63		-		2,49				
	50	1,05		-		3,01				
	60	0,93	43	-	-14	3,21	29			
ПБВ 90	40	1,56		-		0,78				
	50	1,48		-		1,10				
	60	1,25	20	-	63	1,43	83			
ПБВ 60	40	1,85		-		1,5				
	50	1,3		-		2,03				
	60	1,0	46	-	-1	2,17	45			
ПБВ 40	40	2,01		-		1,0				
	50	1,35		-		2,05				
	60	1,01	50	-	70	2,2	120			
БНД 60/90	40	2,58		-		1,69				
	50	1,56		-		2,22				
	60	0,86	33	-	15	2,46	45			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
2	Б	ПБВ 300	40	1,71		-		2,54			
			50	1,32		-		3,02			
			60	1,03	40	-	25	4,2	65	Трещина через 3 мин.	
		ПБВ 130	40	1,53		-		1,03			
			50	1,23		-		1,35			
			60	1,03	33	-	190	3,33	223	Трещина через 3 мин.	
		ПБВ 90	40	1,54		-		1,45			
			50	1,42		-		1,93			
			60	1,33	14	-	57	2,48	71		
		ПБВ 60	40	1,78		-		1,63			
			50	1,43		-		2,0			
			60	1,10	38	-	37	2,36	45		
		ПБВ 40	40	2,4		-		0,97			
			50	1,7		-		1,5			
			60	1,08	55	-	51	2,0	106		
БНД 60/90	40	1,9		-		1,97					
	50	1,29		-		2,21					
	60	0,98	48	-	55	4,0	103	Трещина через 3 мин.			
3	Г	ПБВ 300	40	1,52		-		2,19			
			50	1,33		-		2,59			
			60	1,10	28	-	-6	2,68	22		
		ПБВ 130	40	1,37		-		2,29			
			50	1,26		-		2,76			
			60	1,08	21	-	7	2,92	28		
		ПБВ90	40	2,25		-		1,17			
			50	1,46		-		1,89			
			60	1,18	48	-	-34	2,02	14		
		ПБВ 60	40	2,6		-		2,05			
			50	1,8		-		2,15			
			60	1,14	56	-	-46	2,25	10		
		ПБВ 40	40	2,57		-		1,68			
			50	1,9		-		2,53			
			60	1,25	51	-	27	3,00	78		

БНД 60/90	40	1,83		-		1,86		
	50	1,40		-		2,69		
	60	1,0	45	-	13	3,13	68	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	Д	ПБВ 300	40	1,21		1,15		2,27		
			50	1,01		1,67		3,14		
			60	0,87	28	1,91	55	4,17	83	Трещина через 3 мин.
			70	0,75		2,17		-		
			76	0,72		2,34		-		
			84	0,52		2,47		-		
		ПБВ 130	40	1,50		1,17		1,15		
			50	1,35		1,83		1,57		
			60	1,12	25	2,01	113	2,74	138	
		ПБВ 90	40	2,12		1,01		1,45		
			50	1,3		1,29		1,63		
			60	0,93	56	1,63	25	2,63	81	
		ПБВ 60	40	2,18		0,42		1,34		
			50	1,37		0,86		2,64		
			60	0,92	58	1,01	63	2,96	121	
		ПБВ 40	40	2,07		0,21		1,25		
			50	1,25		0,53		1,32		
			60	0,85	59	0,88	19	2,23	78	
		БНД 60/90	40	2,06		1,33		2,92		
			50	1,81		1,73		3,33		
			60	1,30	37	1,81	11	3,69	26	

Таблица 21.

Значения показателя вдавливания штампа (h_{50}) полимерасфальтобетонов на разных марках ПБВ

№ п/п	Марка вяжущего	Глубина вдавливания штампа при температуре +50°C, мм, не более, для полимерасфальтобетона				
		Плотный, типов смеси				
		А	Б	В	Г	Д
1	ПБВ 300	2,15	3,02	2,32	2,59	2,27
2	БНД 200/300	2,22	3,27	2,67	2,76	2,67
3	ПБВ 200	2,07	2,70	2,12	2,16	1,96
4	ПБВ 130	2,01	2,35	2,04	1,89	1,57
5	ПБВ 90	1,1	1,93	1,94	1,24	1,63
6	ПБВ 60	1,03	2,0	0,97	0,89	2,6
7	БНД 60/90	1,15	1,7	0,97	0,91	2,8
8	ПБВ 40	1,05	1,5	0,91	0,86	1,32

На основе исследований, приведенных в данном разделе, получены следующие результаты:

1. Показано, что чувствительность предлагаемого метода определения глубины вдавливания штампа больше, чем определения предела прочности при одноосном сжатии при 50 °С или угла внутреннего трения $tg \varphi$ и сцепления C , нормированных в ГОСТ 9128-97.
2. Показана возможность и целесообразность снижения норм на значение предела

прочности при одноосном сжатии при 50 °С для полимерасфальтобетона по сравнению с требованиями к аналогичному показателю асфальтобетона как минимум на 10% для соответствующих типов смеси и вязкости вяжущих.

3. Показано, что по показателю h_{50} подтверждается более высокая сдвигоустойчивость полимерасфальтобетонов по сравнению с асфальтобетонами, также как и по $tg \varphi$ и C .

4. Установлены нормы на h_{50} для полимерасфальтобетонов типов А, Б, В, Г, Д на основе ПБВ всех марок по ГОСТ Р 52056-2003.

2.4.3. Метод определения эластичности полимерасфальтобетона

Основное отличие ПБВ от битума определяется наличием, наряду с коагуляционным каркасом из асфальтовых комплексов, структурной сетки из макромолекул полимера, что и приводит к высокой эластичности ПБВ.

Как было показано в разделе 2.2, высокая эластичность ПБВ проявляется в существенно более высокой долговременной прочности полимерасфальтобетона по сравнению с асфальтобетоном.

Так число циклов до разрушения полимерасфальтобетона с применением ПБВ, содержащего 3,5% блоксополимера типа СБС марки Кратон D 1101 и 9% индустриального масла, в режиме постоянной амплитуды деформации 300 мкм/м при 10 °С составляет около 500000, асфальтобетона с применением вязкого битума марки В 80-10000, а полимерасфальтобетона с применением ПБВ, содержащего 5% Кратона D 1101 без пластификатора - 20000 (рис. 24).

При 20 °С полимерасфальтобетон на ПБВ с пластификатором выдерживает 2000000 циклов, а без пластификатора - 15000 циклов при тех же режимах испытания (см. рис. 24).

Таким образом доказано, что число циклов нагружения до разрушения образцов полимерасфальтобетона в десятки раз больше, чем для асфальтобетона, а применение пластификатора в составе ПБВ позволяет увеличить число циклов до разрушения в 130 раз по сравнению с полимерасфальтобетоном, приготовленным на основе ПБВ без пластификатора, даже при более высоком содержании полимера в нем.

Следовательно, работоспособность полимера в присутствии пластификатора выше.

Тем не менее, долговременная прочность определяется не только способностью к большим обратимым деформациям, но и вязкостью пленок вяжущего, то есть скоростью накопления необратимых деформаций.

Для выявления весомости вклада в процесс накопления необратимых деформаций каждого из факторов: вязкости и эластичности провели следующий эксперимент.

Приготовили бинарную смесь, моделирующую асфальтовяжущее, содержащую 60% минерального порошка и 40% вяжущего, путем простого перемешивания при 160 °С, залили в формы диаметром 2,6 см.

После охлаждения образцы выжимали из форм. Полученные цилиндрические образцы высотой $h = 3,3$ см и диаметром $d = 2,6$ см нагружали в воде $0,1 \text{ кг/см}^2$ в течение 1 минуты, затем снимали нагрузку на 5 минут и снова нагружали. После каждого нагружения и каждого восстановления измеряли высоту h и диаметр d образца.

В таблице 22 приведены показатели свойств вяжущих (Π_{25} , $T_{\text{разм}}$, Э_{25}), показатель эластичности образцов из бинарных смесей и изменение высоты Δh и диаметра образцов Δd , то есть необратимые деформации после 20 циклов нагружения - восстановления образцов.

Как видно из приведенных данных, ПБВ с оптимальным (3%) и более высоким (5%) содержанием полимера накапливают существенно меньшую необратимую деформацию, чем битумы, даже самые вязкие.

Таблица 22.

Значение показателей эластичности вяжущих и асфальтовяжущих

№ п/п	Состав вяжущего	П ₂₅	T _{разм}	Э ₂₅ , %	Э ₂₅ × П ₂₅	Э _{па} , %	Δh, см	Δd, см	ε _{ост} = Δh + Δd, см	E _{ост} , кг/см ²
1	БНД 40/60	45	60	0	0	0	1,2	0,8	2,0	0,165
2	БНД 60/90	68	49	0	0	2,5	1,8	0,8	2,6	0,127
3	БН 70/30	33	76	0	0	0	0,3	0,4	0,7	0,471
4	БНД 60/90 + 1% ДСТ	60	53	32	1920	33	1,3	0,5	1,8	0,183
5	БНД 60/90 + 1,5% ДСТ	52	55	38	1976	38	1,1	0,4	1,5	0,220
6	БНД 60/90 + 2,0% ДСТ	49	56	58	2842	47	0,9	0,2	1,1	0,300
7	БНД 60/90 + 3,0% ДСТ	46	58	84	3864	56	0,3	0,1	0,4	0,825
8	БНД 60/90 + 5,0% ДСТ	35	71	89	3115	75	0	0	0	-

Примечание: $E_{ост} = \frac{0,1 \cdot 3,3}{\varepsilon_{ост}} \text{ кг / см}^2$

На рис. 32 показано, что общая остаточная (необратимая) деформация ($\epsilon_{ост} = \Delta h + \Delta d$) образцов на битумах, независимо от их вязкости (пенетрации), всегда больше, чем для образцов на ПБВ.

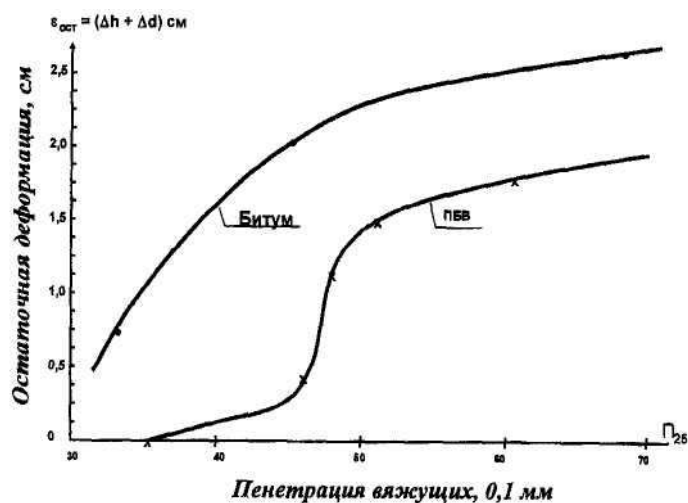


Рис. 32. Зависимость остаточной деформации от вязкости битума и ПБВ:

• - Битум; × - ПБВ.

При этом доля обратимой (упругой) деформации ($\Delta\epsilon_{эл}$), обусловленная наличием полимера и структурной сетки полимера, может быть определена как разность между $\epsilon_{ост}$ (битума) и $\epsilon_{ост}$ (ПБВ) для каждого значения Π_{25} , выраженная в % по отношению к $\epsilon_{ост}$ (битума).

Так как для каждого ПБВ известна его эластичность \mathcal{E}_{25} (таблица 22), то представляется возможным получить зависимость $\Delta\epsilon_{эл}$ от \mathcal{E}_{25} вяжущего (рис. 33).

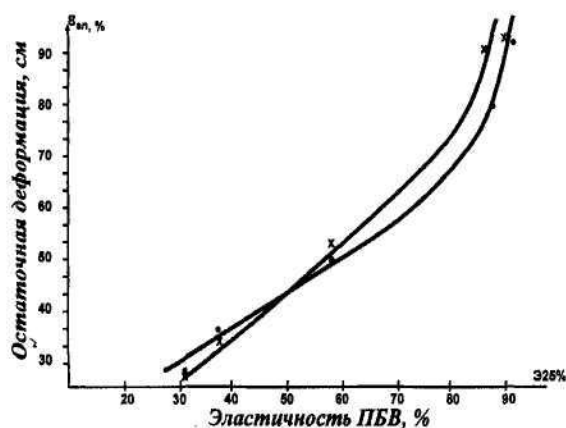


Рис.33. Зависимость вклада эластичности вяжущего в образовании остаточной деформации в образце полимерасфальтовяжущего:

• - по Π_{25} ; × - по $T_{разм}$

Анализ данных, приведенных на рис. 29, показывает, что $\epsilon_{эл}$ образца увеличивается с повышением эластичности ПБВ, а при содержании полимера, достаточного для образования пространственной структурной сетки полимера в битуме, наблюдается увеличение угла наклона этой зависимости, то есть $\Delta\epsilon_{эл}$ значительно больше зависит от \mathcal{E}_{25} при значениях \mathcal{E}_{25} более 80%.

Это свидетельствует о том, что повышение эластичности ПБВ на несколько процентов выше 80% позволит существенно повысить долговременную прочность покрытия, что особенно важно для дорог высоких категорий, так как модуль деформации $E_{ост}$, а, следовательно, и упругость покрытия, будут резко возрастать. Это проиллюстрировано на рис. 34 и 35.

Для определения и регламентирования показателя, характеризующего способность полимерасфальтобетона к эластическим деформациям, а, следовательно, и его долговременную прочность, предложен простой метод, приемлемый для заводских лабораторий.

Метод заключается в определении числа циклов до разрушения стандартного образца полимерасфальтобетона - «семерки» под действием 0,5 от значения предела прочности при 50 °С.

Нагрузка - 1 минута, отдых - 5 минут. Показатель назван показателем эластичности полимерасфальтобетона \mathcal{E}_{50} , так как именно высокая эластичность ПБВ и обуславливает более высокую долговременную прочность полимерасфальтобетона по сравнению с асфальтобетоном.

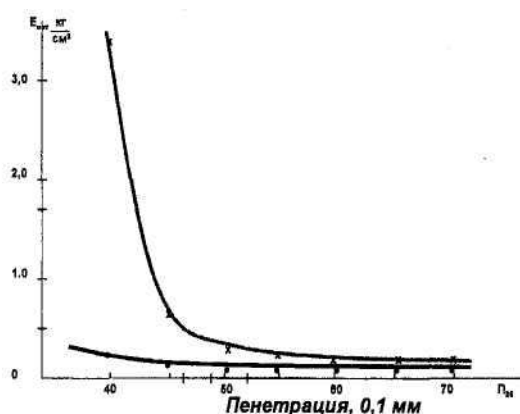


Рис.34. Влияние вязкости вяжущих на модуль деформации асфальтовяжущего:

• – Битум; x – ПБВ.

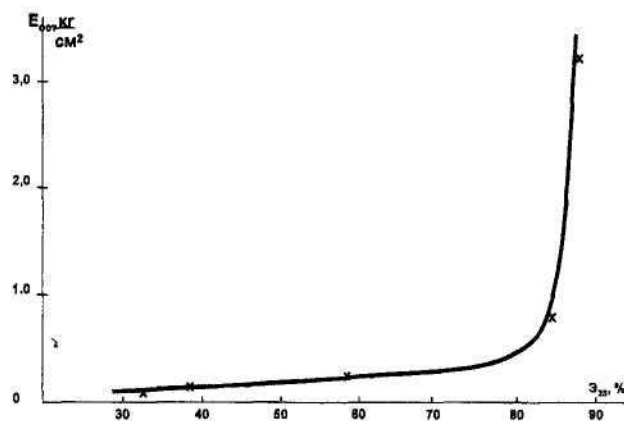


Рис. 35. Взаимосвязь эластичности ПБВ и упругости полимерасфальтовяжущего.

В таблице 23 приведены результаты испытания всех типов смесей, приготовленных на основе ПБВ всех марок.

Таблица 23.

Значения показателя эластичности (\mathcal{E}_{50}) полимерасфальтобетонов на разных марках ПБВ

№ п/п	Марка вяжущего	P_{25}	Число циклов до разрушения				
			Плотный, типов смеси				
			А	Б	В	Г	Д
1	ПБВ 300	372	7	6	4	7	4
2	БНД 200/300	204	4	4	2	4	2
3	ПБВ 200	237	12	7	5	8	6
4	ПБВ 130	139	15	9	7	12	8
5	ПБВ 90	122	21	10	8	16	10
6	ПБВ 60	98	18	10	10	17	9
7	БНД 60/90	68	11	4	5	9	2
8	ПБВ 40	55	16	12	12	17	15

Как видно из приведенных данных, показатель \mathcal{E}_{50} для полимерасфальтобетона выше, чем для асфальтобетона на 50-80% при близких пенетрациях вяжущих.

На рис. 36 показано, что долговременная прочность полимерасфальтобетона снижается с увеличением пенетрации ПБВ, а для смесей типов А и Б наблюдается максимум при P_{25} , равном соответственно 110 и 80.

В зависимости от типа смеси показатель \mathcal{E}_{50} может быть ранжирован по степени убывания в следующий ряд: А, Г, Б, Д, В.

Установлено, что наиболее высокое значение \mathcal{E}_{50} достигается при оптимальном содержании ПБВ в смеси.

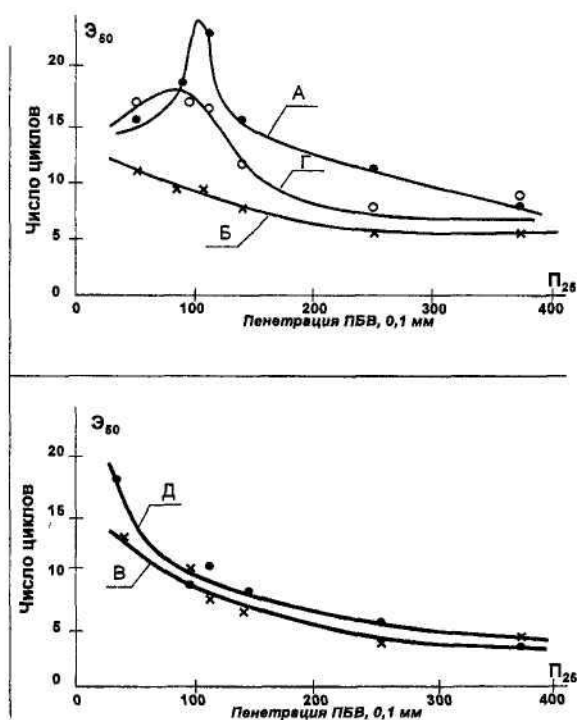


Рис. 36. Влияние вязкости ПБВ на показатель эластичности полимерасфальтобетона:

А, Б, В, Г, Д - типы смеси.

В результате проведенных исследований по данному разделу получены следующие результаты.

1. Установлена взаимосвязь между показателем эластичности ПБВ (\mathcal{E}_{25}) и долговременной прочностью асфальтовяжущего и полимерасфальтовяжущего, в частности, накоплением остаточных деформаций в полимерасфальтобетоне при многократном воздействии нагрузки ($\epsilon_{ост}$). Показано, что при применении ПБВ значение $\epsilon_{ост}$ ниже, чем при применении битума, особенно при наличии структурной сетки в ПБВ.

2. Показано, что чем выше показатель эластичности ПБВ, тем меньше $\epsilon_{ост}$ в полимерасфальтовяжущем при 50 °С. При этом наибольший эффект в части повышения упругости полимерасфальтовяжущего наблюдается при наличии пространственной структурной сетки полимера во всем объеме ПБВ и особенно при значении \mathcal{E}_{25} более 80%.

3. Установлено, что эта закономерность сохраняется и при условии исключения влияния вязкости ПБВ на $\epsilon_{ост}$.

4. Определены показатели эластичности полимерасфальтобетонов (\mathcal{E}_{50}) типов А, Б, В, Г, Д на полимерно-битумном вяжущем всех марок и для сопоставления для асфальтобетонов тех же типов на битумах марок БНД 60/90 и БНД 200/300.

5. Установлены нормы на значение показателя эластичности полимерасфальтобетонов \mathcal{E}_{50} всех типов полимерасфальтобетонных смесей в зависимости от типа смеси и марки ПБВ.

6. Показано, что на показатель эластичности полимерасфальтобетона \mathcal{E}_{50} наиболее существенное влияние оказывает условная вязкость ПБВ (марка) и содержание его в смеси.

7. Установлено, что наиболее высоким значением \mathcal{E}_{50} характеризуются полимерасфальтобетоны с оптимальным содержанием ПБВ, особенно типов А, Г и Б.

8. Установлено, что \mathcal{E}_{50} в полимерасфальтобетонах и асфальтобетонах оптимальных составов значительно отличаются. \mathcal{E}_{50} в полимерасфальтобетонах в 1,5-1,8 раз выше, чем в асфальтобетонах при близких значениях пенетрации вяжущих.

2.5. Разработка технических требований к полимерасфальтобетону

Основной принцип стандартизации материалов, регламентирования их качества - «достижение более высокого результата по сравнению с достигнутым ранее».

В нашем случае достигнутым результатом считаем комплекс требований к асфальтобетону и его компонентам, регламентированный в ГОСТ 9128 с Изменением №1.

Первое, основное отличие полимерасфальтобетона от асфальтобетона - применение ПБВ на основе СБС по ГОСТ Р 52056 вместо битумов по ГОСТ 22245.

Вторым отличием, обусловленным менее вязкой дисперсионной средой ПБВ по сравнению с дисперсионной средой битумов, является необходимость увеличения содержания минерального порошка в смесях, приготовляемых на ПБВ марок ПБВ 200 и ПБВ 300, особенно ощутимое для смесей типов В и Д.

Третьим отличием является необходимость разработки и регламентирования дополнительных методов испытания полимерасфальтобетона по сравнению с асфальтобетоном - методы определения:

температуры трещиностойкости, глубины вдавливания штампа, показателя эластичности полимерасфальтобетона.

Для того, чтобы не возникало сомнений в качестве полимерасфальтобетона и чтобы не допустить снижения качества по сравнению с асфальтобетоном для полимерасфальтобетона, нормированы все показатели, принятые в ГОСТ 9128 для асфальтобетона на том же уровне, кроме R_{50} и R_{20} .

Снижение норм по этим двум показателям, как показали проведенные исследования, не свидетельствует о снижении качества материала, а является вполне обоснованным, во-первых, нормами по $tg \varphi$ и C и результатами по определению этих показателей, а во-вторых, иной природой полимерасфальтобетона - повышенными тиксотропными свойствами, которые проявляются при напряжениях, близких к разрушающим при испытании образцов на одноосное сжатие.

В результате учета всех изложенных выше особенностей в 2007 г. в Росавтодор России передан проект ГОСТ Р «Смеси полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и полимерасфальтобетон. Технические условия», разосланный на отзывы в 41 организацию, на который получены положительные заключения.

В 2008 г. проект ГОСТ Р проходит стадию подготовки к утверждению.

В таблицах 24 и 25 приведены требования к зерновым составам полимерасфальтобетонных смесей с учетом марки ПБВ.

В таблице 26 показано, что наибольшее отличие в содержании фракции менее 0,071 мм наблюдается для смесей типа Д на всех марках ПБВ, для смесей типа Г - на ПБВ марок ПБВ 200 и ПБВ 300.

В таблице 27 приведены основные требования к показателям физико-механических свойств полимерасфальтобетона.

Как было показано в предыдущих разделах, полимерасфальтобетон характеризуется высокой сдвигоустойчивостью даже при небольшой величине водонасыщения, то есть при несколько большем содержании вяжущего, чем в асфальтобетоне, и отличается значительным содержанием замкнутых пор.

Это позволило несколько ужесточить требования по остаточной пористости и водо-

насыщению для плотных полимерасфальтобетонов, как видно из таблицы 28.

В таблице 29 приведены рекомендуемые требования к показателям эластичности (Θ_{50}) и глубине вдавливания штампа (h_{50}).

В таблице 30 приведены рекомендуемые региональные требования к температуре трещиностойкости полимерасфальтобетона и температуре размягчения ПБВ.

Таблица 24.

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

Вид и типы смесей асфальтобетонов	Размер зерен, мм, мельче, % по массе:									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Горячие высокоплотные	90-100	70-100	56-100	35-50	24-50	18-50	13-50	12-50	11-28	10-16
Горячие плотные типов	Непрерывные зерновые составы									
А	90-100	75-100	62-100	40-50	28-42	20-38	14-30	10-20	6-14	4-11
Б	90-100	80-100	70-100	50-63	38-53	28-45	20-38	14-28	10-17	6-12
В	90-100	85-100	75-100	60-80	48-66	37-60	28-50	20-34	13-24	8-16
Г	-	-	-	80-100	65-190	45-82	30-60	20-44	15-34	8-22
Д	-	-	-	80-100	60-93	45-85	30-75	20-55	15-43	10-27
	Прерывистые зерновые составы									
А	90-100	75-85	62-70	40-50	28-50	20-50	14-50	10-28	6-14	4-11
Б	80-90	80-90	70-77	50-60	38-60	28-60	20-60	14-34	10-18	6-12

Таблица 25.

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

Вид и типы смесей и полимерасфальтобетонов	Размер зерен, мм, мельче, % по массе									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Горячие высокоплотные	90-100	70-100	56-100	35-50	24-50	18-50	13-50	12-50	11-28	10-16
Горячие плотные типов	Непрерывные зерновые составы									
А	90-100	75-100	62-100	40-50	28-38	20-28	14-20	10-16	6-12	4-10
Б	90-100	80-100	70-100	50-60	38-48	28-37	20-28	14-22	10-16	6-12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
В	90-100	85-100	75-100	60-70	48-60	37-50	28-40	20-30	13-20	8-14
Г	-	-	-	80-100	65-90	45-82	30-60	20-41	15-34	8-21
Д	-	-	-	80-100	60-93	45-85	30-75	20-55	15-33	10-21
Прерывистые зерновые составы										
А	90-100	75-85	60-70	40-50	28-50	20-50	14-50	10-28	6-16	4-10
Б	80-100	80-90	70-77	50-60	38-60	28-60	20-60	14-34	10-20	6-12

Таблица 26.

**Сопоставление норм по содержанию фракции
мельче 0,071 мм полимерасфальтобетонов
(для непрерывных составов)**

№ п/п	Марка ПБВ	Тип смеси									
		А		Б		В		Г		Д	
		ГОСТ 9128	Про- ект ГОСТ Р	ГОСТ 9128	Про- ект ГОСТ Р	ГОСТ 9128	Про- ект ГОСТ Р	ГОСТ 9128	Про- ект ГОСТ Р	ГОСТ 9128	Про- ект ГОСТ Р
1	ПБВ 300	4-10	4-11	6-12	6-12	8-14	8-16	8-16	8-20	10-16	10-27
2	ПБВ 200	4-10	4-11	6-12	6-12	8-14	8-16	8-16	8-20	10-16	10-27
3	ПБВ 130	4-10	4-10	6-12	6-12	8-14	8-14	8-16	8-16	10-16	10-21
4	ПБВ 90	4-10	4-10	6-12	6-12	8-14	8-14	8-16	8-16	10-16	10-21
5	ПБВ 60	4-10	4-10	6-12	6-12	8-14	8-14	8-16	8-16	10-16	10-21
6	ПБВ 40	4-10	4-10	6-12	6-12	8-14	8-14	8-16	8-16	10-16	10-21

Сниженное значение R_{50} в нормах на полимерасфальтобетон по сравнению с нормами на асфальтобетон позволяет уменьшить содержание наиболее тонкодисперсной составляющей минеральной части смеси, т.е. фракции мельче 0,071 мм.

Таблица 27.

**Требования к показателям физико-механических свойств
высокоплотных и плотных полимерасфальтобетонов**

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя для полимерасфальтобетонов марок:						Методы испы- таний
		I			II			
		Для дорожно-климатических зон						
		I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее, для полимерасфальтобетонов: высокоплотных плотных типов: А Б В Г Д	0,9	1,0	1,1	-	-	-	ГОСТ 12801
		0,8	0,9	1,0	-	-	-	
		0,9	1Д	1,2	-	-	-	
		-	-	-	1,0	1,1	1,2	
		1,0	1,2	1,4	-	-	-	
		-	-	-	1,0	1,2	1,4	
2	Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С для полимерасфальтобетонов всех типов, МПа, не менее	1,9	2,0	2,0	1,8	1,8	1,8	ГОСТ 12801
3	Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С для полимерасфальтобетонов всех типов, МПа, не более	6,0	8,0	11,0	6,0	9,0	11,0	ГОСТ 12801
4	Водостойкость плотных полимерасфальтобетонов, не менее	0,95	0,90	0,85	0,90	0,85	0,80	ГОСТ 12801
5	Водостойкость высокоплотных полимерасфальтобетонов, не менее	0,95	0,95	0,90	-	-	-	ГОСТ 12801

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Водостойкость плотных полимерасфальтобетонов при длительном водонасыщении, не менее	0,90	0,85	0,75	0,85	0,75	0,70	ГОСТ 12801	
7	Водостойкость высокоплотных полимерасфальтобетонов при длительном водонасыщении, не менее	0,95	0,90	0,85	-	-	-	ГОСТ 12801	
8	Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее, для полимерасфальтобетонов типов: высокоплотных плотных типов:	0,86	0,87	0,89	-	-	-	ГОСТ 12801	
		А	0,86	0,87	0,89	-	-		-
		Б	0,80	0,81	0,83	-	-		-
		В	-	-	-	0,74	0,76		0,78
		Г	0,78	-	0,82	-	-		-
Д	-	-	-	0,64	0,65	0,70			
9	Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при 50 °С МПа, не менее, для полимерасфальтобетонов типов: высокоплотных плотных типов:	0,20	0,22	0,24	-	-	-	ГОСТ 12801	
		А	0,18	0,20	0,21	-	-		-
		Б	0,26	0,30	0,31	-	-		-
		В	-	-	-	0,30	0,34		-
		Г	0,27	0,30	0,31	-	-		-
Д	-	-	0	0,38	0,43	0,44			
10	Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин, для полимерасфальтобетонов всех типов, МПа, не менее	2,4	2,8	3,3	2,0	2,4	2,8	ГОСТ 12801	

Таблица 28.

**Сопоставление норм по остаточной пористости
и водонасыщению асфальтобетонов
и полимерасфальтобетонов**

№ п/п	Наименование показателя	Высокоплотный тип		Плотный, типов					
		ГОСТ 9128	проект ГОСТ Р	А		Б, В, Г		Д	
				ГОСТ 9128	проект ГОСТ Р	ГОСТ 9128	проект ГОСТ Р	ГОСТ 9128	проект ГОСТ Р
1	Остаточная пористость, %	1,0-2,5	1,0-2,5	2,5-5,0	2,5-4,0	2,5-5,0	2,5-4,0	2,5-5,0	2,5-4,0
2	Водонасыщение, %	1,0-2,5	1,0-2,5	2,0-5,0	1,5-3,5	1,5-4,0	1,0-2,5	1,0-4,0	1,0-2,5

Таблица 29.

**Требования к показателю эластичности (\mathcal{E}_{50})
и показателю глубины вдавливания штампа (h_{50})
полимерасфальтобетонов в зависимости от марки ПБА
(рекомендуемые)**

№ п/п	Марка ПБВ	Тип смеси											
		Высокоплотный		А		Б		В		Г		Д	
		\mathcal{E}_{50} , циклов	h_{50} , мм	\mathcal{E}_{50} , циклов	h_{50} , мм	\mathcal{E}_{50} , циклов	h_{50} , мм	\mathcal{E}_{50} , циклов	h_{50} , мм	\mathcal{E}_{50} , циклов	h_{50} , мм	\mathcal{E}_{50} , циклов	h_{50} , мм
1	ПБВ300	6	3,0	6	3,5	5	3,5	3	4,5	5	3,5	3	4,5
2	ПБВ 200	7	3,0	7	3,5	6	3,5	4	4,5	7	3,5	4	4,5
3	ПБВ 130	9	2,5	9	3,0	8	3,0	6	4,0	8	3,0	6	4,0
4	ПБВ 90	10	2,5	10	3,0	9	3,0	8	4,0	10	3,0	8	4,0
5	ПБВ 60	11	2,0	11	2,5	10	2,5	9	3,5	11	2,5	9	3,5
6	ПБВ 40	13	2,0	13	2,5	10	2,5	10	3,5	13	2,5	12	3,5

Таблица 30.

**Выписка из приложения В к проекту ГОСТ Р)
Региональные технические требования к ПБВ
и полимерасфальтобетонам (рекомендуемые)**

№ п/п	Республика, край, область, пункт	Температура трещиностойкости полимерасфальтобетона, °С, не выше, обеспеченностью		Температура размягчения ПБВ по Кольцу и Шару, °С, не ниже
		0,98 дороги I и II категории, мосты и аэродромы	0,92 дороги III, IV и V категорий	
1	Республика Адыгея, Майкоп	-27	-22	66
2	Амурская область, Благовещенск	-38	-37	63
3	Архангельская область, Архангельск	-39	-37	57

4	Республика Бурятия, Баргузин	-46	-44	61
5	Волгоградская область, Волгоград	-33	-30	66
6	Республика Дагестан, Дербент	-16	-13	64
7	Иркутская область, Братск	-47	-46	59
8	Кабардино-Балкарская Республика, Нальчик	-24	-21	64
9	Кировская область, Киров	-39	-37	60
10	Краснодарский край, Краснодар	-27	-23	67
11	Краснодарский край, Сочи	-9	-6	62
12	Магаданская область, Магадан	-34	-32	49
13	Московская область, Москва	-36	-32	59
14	Пермская область, Пермь	-42	-39	59
15	Ростовская область, Таганрог	-2	-26	64
16	Республика Северная Осетия-Алания, Владикавказ	-24	-20	62
17	Чеченская Республика, Грозный	-23	-22	67
18	Ленинградская область, Санкт-Петербург	-33	-30	58

**Пособие подготовлено
Экономико-консультационным центром «ЭКОН»**

Ответственный за выпуск:

Рогова И.Н. (тел.180-94-00)

Лицензия ИД № 03866 от 30.01.2001 г, Подписано в печать 21.10.2008 г.

Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,5.

Заказ № 1222

Тираж 300 экз.

**Издано и отпечатано с готовых оригинал-макетов в ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ»
тел. 180-93-05**

