

Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова

УДК: 625.7/.8:691.16

На правах рукописи

**ЕЛЬШИБАЕВ АЙДОС ОРАЛГАЖИЕВИЧ**

**Исследование низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и  
полимерасфальтобетонов**

6D074500 - Транспортное строительство

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научный консультант  
д.т.н., профессор  
Телтаев Б.Б.

Зарубежный научный  
консультант  
к.т.н., доцент  
Маданбеков Н.Ж.

Республика Казахстан  
Алматы, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....</b>	4
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....</b>	6
<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....</b>	7
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	8
<b>1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....</b>	11
1.1 Современное состояние изученности вопроса исследования и постановка собственных исследований.....	11
Выводы по 1 разделу.....	30
<b>2 БИТУМЫ.....</b>	31
2.1 Выбор битумов.....	31
2.2 Стандартные показатели битумов.....	31
2.2.1 Глубина проникания иглы (пенетрация).....	31
2.2.2 Температура размягчения по кольцу и шару (КиШ).....	32
2.2.3 Растяжимость.....	33
2.2.4 Динамическая вязкость.....	34
2.2.5 Кинематическая вязкость.....	34
2.2.6 Температура вспышки.....	35
2.2.7 Температура хрупкости.....	35
2.2.8 Индекс пенетрации.....	36
2.2.9 Растворимость битума.....	37
2.2.10 Старение битума.....	37
2.2.11 Для моделирования старения под давлением PAV.....	39
Выводы по 2 разделу.....	40
<b>3 ПОЛИМЕР БИТУМЫ.....</b>	41
3.1 Выбор полимеров для модифицирования битумов.....	41
3.2 Технология приготовления полимербитумов.....	43
3.2.1 Приготовления полимербитума с полимером Kraton D.....	44
3.2.2 Приготовления полимербитума с полимером Elvaloy 4170.....	44
3.2.3 Приготовления полимербитума с полимером Calprene 501.....	44
3.2.4 Приготовления полимербитума с полимером Butonal NS 198.....	45
3.3 Стандартные показатели полимербитумов.....	45
3.3.1 Глубина проникания иглы при 25 °С (пенетрация).....	47
3.3.2 Температура размягчения (КиШ).....	47
3.3.3 Температура хрупкости.....	48
3.3.4 Растяжимость.....	49
Выводы по 3 разделу.....	50
<b>4 АСФАЛЬТОБЕТОНЫ И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОНЫ.....</b>	51
4.1 Приготовление асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов.....	51
4.2 Стандартные показатели асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов.....	52
4.2.1 Плотность.....	55
4.2.2 Остаточная пористость.....	55

4.2.3 Водонасыщение.....	55
4.2.4 Прочности при сжатии при температуре 50°С.....	56
4.2.5 Прочности при сжатии при температуре 20°С.....	56
4.2.6 Прочности при сжатии при температуре 0°С.....	57
4.2.7 Сдвигоустойчивость при температуре 50 °С.....	58
4.2.8 Определение трещиностойкости по пределу прочности при расколе при 0 °С.....	59
Выводы по 4 разделу.....	60
<b>5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНОВ И ПОЛИМЕР-АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....</b>	<b>61</b>
5.1 Испытание битумных вяжущих при низких температурах.....	61
5.1.1 Подготовка битумных образцов.....	62
5.1.2 Проведение испытания.....	63
5.2 Приготовление асфальто- и полимерасфальтобетонных смесей и образцов.....	64
5.3 Подготовка образцов к испытанию.....	66
5.4 Установка «TRAVIS 20-6000».....	69
5.5 Методика определения низкотемпературных характеристик.....	74
5.5.1 Одноосное растягивающее напряжение.....	74
5.5.2 Температурное напряжение при торцевом ограничении.....	74
5.6 Низкотемпературные характеристики битумных вяжущих.....	76
5.7 Низкотемпературные характеристики асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов.....	78
5.7.1 Испытание асфальтобетонов одноосным растягивающим напряжением.....	78
5.7.2 Испытание асфальтобетонов температурным напряжением при ограничении торцевых деформаций.....	80
5.8 Сравнение критических температур битумных вяжущих и асфальтобетонов.....	82
Выводы по 5 разделу.....	83
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>85</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>86</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А - Аттестат аккредитации.....</b>	<b>92</b>

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертационной работе использованы ссылки на следующие нормативные правовые, нормативные (государственные стандарты Республики Казахстан и межгосударственные стандарты) и нормативно-технические документы:

СТ РК 1210-2003 Битумы и битумные вяжущие. Метод определения кинематической вязкости;

СТ РК 1211-2003 Битумы и битумные вяжущие. Метод определения динамической вязкости;

СТ РК 1213-2003 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний;

СТ РК 1218-2003 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний;

СТ РК 1223-2019 Смеси полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и полимерасфальтобетон. Технические условия;

СТ РК 1224-2003 Битумы и битумные вяжущие. Методы определения устойчивости к старению под воздействием прогрева и воздушной среды;

СТ РК 1225-2019 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия;

СТ РК 1226-2003 Битумы и битумные вяжущие. Метод определения глубины проникания иглы;

СТ РК 1227-2003 Битумы и битумные вяжущие. Определение точки размягчения методом кольца и шара;

СТ РК 1228-2003 Битумы и битумные вяжущие. Метод определения растворимости;

СТ РК 1229-2003 Битумы и битумные вяжущие. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу;

СТ РК 1284 -2004 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия;

СТ РК 1373-2005 Битумы нефтяные дорожные, вязкие. Технические условия;

СТ РК 1374-2005 Битумы и битумные вяжущие. Метод определения растяжимости;

СТ РК 1218-2003 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний;

СТ РК 2373-2019 Смеси щебеночно-мастичные полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и щебеночно-мастичный полимерасфальтобетон. Технические условия

СТ РК 2534-2014 Битум и битумные вяжущие. Битумы модифицированные дорожные. Технические условия;

СТ РК EN 12697-33-2012 Смеси битумные. Метод испытания горячих асфальтобетонных смесей. Часть 33. Испытательный образец, приготовленный с помощью каткового уплотнителя;

СТ РК EN 12697-46-2019 Смеси битумные Методы испытаний горячих асфальтобетонных смесей. Часть 46. Определение низкотемпературного трещинообразования и свойств при испытании на одноосное растяжение

ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия;

ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия;

ГОСТ 18180-72 Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертационной работе применяются следующие определения:

**Асфальтобетонная смесь:** Рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня (гравия), песка и минерального порошка), битумного вяжущего, взятых в определенных соотношениях и смешанных в нагретом состоянии.

**Асфальтобетон:** Искусственный строительный материал, полученный в результате уплотнения рационально подобранной и специально приготовленной смеси (асфальтобетонной смеси) минерального материала (щебня, песка, минерального порошка) и битума.

**Полимерные добавки:** Полимерные модификаторы различной природы (линейные углеводородные полимеры, термопластичные каучуки, модификаторы на основе резиновой крошки и др., повышающие устойчивость полимерасфальтобетона к высоким и низким температурам.

**Полимерасфальтобетонная смесь:** Рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня (гравия), песка и минерального порошка) с полимером-модификатором и битумом или с полимерно-битумным вяжущим, взятых в определенных соотношениях и смешанных в нагретом состоянии.

**Полимерасфальтобетон:** Уплотненная полимерасфальтобетонная смесь.

**Суперпейв:** Система включающая определение характеристик битумных материалов на основе их эксплуатационных показателей для расчетных климатических условий с целью улучшения поведения в эксплуатации путем контроля колееобразования, низкотемпературного и усталостного трещинообразования.

**Трещиностойкость:** Способность дорожного покрытия сопротивляться образованию на нем трещин под действием транспортных нагрузок и изменяющихся погодно-климатических условий.

**Низкотемпературное трещинообразование:** Разрушение образца асфальтобетона под воздействием отрицательных температур.

**Камера для старения под давлением; PAV (Pressurized Aging Vessel):** Прибор в котором под воздействием повышенных температуры и давления моделируется старение битума или БМП в составе дорожного покрытия в течение 5 – 10 лет его эксплуатации.

**Реометр изгибающий балочку; BBR (Bending Beam Rheometer):** Прибор, позволяющий определить сопротивление нагрузке при отрицательной температуре прогнозировать сопротивление битума и БМП деформациям при низких температурах.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

НТД	–	Нормативно-технический документ
РК	–	Республика Казахстан
ПР РК	-	Правила и рекомендации Республики Казахстан
СТ РК	-	Национальный стандарт Республики Казахстан
ГОСТ	-	Межгосударственный стандарт
СТ РК EN	-	Стандарт Республики Казахстан гармонизированный с Европейскими стандартами
НПХЗ	-	Нефтеперерабатывающий химический завод
ПНХЗ	-	Павлодарский нетехимический завод
SBS	-	Стирол-Бутадиен-Стирол
США	-	Соединенные Штаты Америки
ЩМА	-	Щебено-мастичный асфальтобетон
БНД	-	Битум нефтяной дорожный
БМП	-	Битум модифицированный полимерный
ВВР	-	Реометр с изгибающей балкой
TSRST	-	Температурное напряжение при торцевом ограничении
RTFO	-	Вращающаяся тонка пленочная печь
PAV	-	Старение под давлением в камере
мм	–	миллиметр
см	–	сантиметр
г	-	грамм
кг	-	килограмм
%	-	процент
°С	-	градус Цельсия
Па	-	паскаль
МПа	-	мегапаскаль

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Республика Казахстан, расположена в 3-х дорожно-климатических зонах, имеет преимущественно резко континентальный климат. Высокие летние температуры требуют принятия мер против образования колеи и волн на покрытии, а низкие зимние температуры являются причиной температурного трещинообразования. Частые температурные переходы через 0 °С также усложняют работу асфальтобетона.

Эффективным способом улучшения эксплуатационных свойств битумов и асфальтобетона является модификация их полимерными добавками, повышающими теплостойкость, понижающими температуру хрупкости, расширяющими температурный интервал работоспособности материала. Различные добавки нашли широкое применение в практике строительства и ремонта автомобильных дорог во многих странах.

Идея работы состоит в использовании результатов экспериментальных и теоретических исследований, технических решений по применению модификаторов в составе битумов при проектировании асфальтобетонов при строительстве и ремонте автомобильных дорог с учетом условий эксплуатации при низких температурах.

**Объект исследования.** Дорожные асфальтобетоны и полимерасфальтобетоны.

**Предмет исследования.** Низкотемпературные характеристики асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов.

**Целью настоящей работы является.** Экспериментальное исследование низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Определить стандартные характеристики традиционных асфальтобетонов;
2. Приготовить полимерасфальтобетоны с различными полимерными добавками и определить их стандартные характеристики;
3. Путем испытания на установке «TRAVIS 20-6000» определить низкотемпературные характеристики асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;
4. Путем испытания на реометре с изгибаемой балкой (BBR) определить низкотемпературные характеристики битумных вяжущих.
5. Сравнить экспериментально установленные значения климатических температур битумных вяжущих, асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;
6. На основе анализа полученных результатов разработать предложения по применению их на практике.

**Научная новизна работы заключается в следующем**

- в Казахстане впервые определены низкотемпературные характеристики (прочность, деформация разрушения, климатическое напряжение и критическая температура) применяемых в дорожном строительстве асфальтобетонов;

- путем модификации разными полимерами получены полимерасфальтобетоны и определены их низкотемпературные характеристики;

- определены низкотемпературные характеристики (жесткость и скорость релаксации, критическая температура) битумов и полимербитумов, использованных для приготовления асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;

- экспериментально установлено, что модификация полимерами повышают низкотемпературные характеристики асфальтобетонов;

- значения критических температур битумных вяжущих, асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов приблизительно одинаковы.

### **Практическая значимость работы**

- методики и результаты экспериментального определения низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов, примененные в диссертации, могут быть использованный на практике для оценки пригодности составов асфальто- и полимерасфальтобетонов в разных климатических регионах республики;

- указанные выше методики систематически используются в АО «КаздорНИИ» для оценки низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;

- на основе апробации указанных выше методик в АО «КаздорНИИ» и полученных по ним экспериментальных результатов в Казахстане введен стандарт СТ РК EN 12697-46-2019 «Определение низкотемпературного трещинообразования и свойств при испытании на одноосное растяжение».

- результаты диссертации были учтены при разработке дорожного ведомственного нормативного документа Р РК 218-129-2016 «Альбом рациональных конструкций дорожных одежд с учетом природно-климатических условий и категорий дорог».

### **Достоверность результатов исследования**

Достоверность полученных результатов подтверждается следующими положениями:

- все лабораторные испытания проводились в аттестованной лаборатории АО «КаздорНИИ» (Аттестат аккредитации № KZ.T.02.0603 от 08.04.2020);

- использованы современные методы анализа с применением аттестованных приборов (сертификаты поверки представлены в приложениях);

- для оценки поведение битумных вяжущих при низких температурах использовался прибор «Реометр с изгибающейся балкой (BBR)» (паспорт представлен в приложении);

- для уплотнения асфальтобетонных образцов применялся роллерный компактор «Copper Research Technology limited» (Великобритания) CRT-RC2S/RC2S V соответствующий стандарту EN 12697-31. Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt – Part 31: Specimen preparation by gyratory compactor (паспорт в приложении);

- для определения низкотемпературной устойчивости асфальтобетонов установка «TRAVIS 20-6000» (Германия), соответствующая требованиям стандарта pr. EN 12697-46 «Асфальтобетонные смеси. Методы испытания горячих асфальтобетонных смесей. Часть 46: Определение низкотемпературного трещинообразования и свойств с помощью испытаний на одноосное растяжение» (паспорт в приложений);

- многократным повторением экспериментов, характеризующихся высокой воспроизводимостью результатов;

- отсутствием противоречия результатов основным законам физики и химии.

**Личный вклад автора** заключается в анализе научной литературы по исследованиям низкотемпературных характеристик различных видов асфальтобетонов, постановке цели и задач работы по исследованию низкотемпературной устойчивости, анализе полученных результатов о влиянии отрицательной температуры на различные виды асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов с различными полимерами, публикации научных статей по теме диссертации. Результаты исследований являются оригинальными и получены лично автором или при его непосредственном участии.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 5 печатных научных работ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в перечень ККСОН МОН РК, 3 - в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из пяти, глав, выводов (заключение), приложения и списка использованной литературы, включающего 98 наименования работ отечественных и зарубежных авторов. Работа изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 53 рисунков и гистограмм, 3 таблицы.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Современное состояние изученности вопроса исследования и постановка собственных исследований

Современная дорога должна позволять автомобилям развивать расчетную скорость при максимальной безопасности движения.

Безопасность движения и расчетная скорость - это наиболее обобщенные и значимые показатели эксплуатационного качества дорожного покрытия, которые в значительной мере определяются свойствами асфальтобетона, а именно его устойчивости к образованию колеи, шероховатостью и яркостью. Обеспечение на высоком уровне эксплуатационных свойств асфальтобетонного покрытия приводит не только к повышению безопасности дорожного движения, а также, что имеет особое значение в наши дни, к повышению комфортабельности движения.

Эксплуатационные свойства асфальтобетона, прежде всего, связаны с качеством применяемого вида минерального материала в асфальтобетоне. Асфальтобетон по своей структуре является многокомпонентной конгломератной системой, в которой минеральный остов в виде отдельных зерен находится в среде, склеивающей эти зерна в единый монолит. В связи с этим структура асфальтобетона характеризуются не только величиной, формой, количественным соотношением зерен различной крупности, свойствами минеральных составляющих, но также структурой и свойствами битума и природой взаимодействия между ним и зернами минерального состава.

Поэтому влияние минерального материала на эксплуатационные характеристики асфальтобетона необходимо рассматривать не только в отдельности, но и в совокупности со свойствами битума.

Основным недостатком асфальтобетона как дорожно-строительного материала является большая зависимость его прочностных и деформативных характеристик от температуры. Повышение температуры вызывает понижение вязкости битума, содержащегося в асфальтобетоне, что ведет за собой уменьшение прочности и повышение деформативности.

Значительное влияние на поведение асфальтобетона в условиях эксплуатации имеет его внутреннее строение [1].

Асфальтобетон представляет собой один из наиболее сложных строительных материалов. Эта сложность обусловлена, главным образом, особенностями его структуры, а также большой зависимостью свойств от многообразных факторов. Физико-механические свойства асфальтобетона очень резко изменяются с изменением температуры. Эта особенность его свойств отличает его от других дорожно-строительных материалов, применяемых при строительстве дорог. В период воздействия высоких положительных температур асфальтобетон обладает свойствами вязкопластичного материала, а при отрицательных - упругого материала. Изменение температуры очень резко влияет на деформационные свойства при

положительных и отрицательных температурах, которыми в большой степени определяется его работоспособность в дорожном покрытии.

Исследованию различных элементов структуры асфальтобетона посвящены работы многих ученых, таких как П.В.Сахаров, Н.Н.Иванов, В.О.Гольмер, И.А.Рыбьев, М.И.Волков, Л.Б.Гезенцевей, А.М.Богуславский, Б.И.Ладыгин, С.Б.Шестаперов, Н.В.Михайлов, А.И.Лысихина, И.В.Королев, И.М.Руденская, А.В.Руденский, В.А.Золотарев, И.А.Плотникова, В.Н.Кононов, M.Kalabinska, Marszall и другие.

П.В.Сахаров [2] структуру асфальтобетона объяснял как функцию свойств частиц, их относительных масс в единице готового материала, равномерности распределения, правильности и тщательности производственных процессов, происходящих в условиях температурного режима при уплотнении.

Работами Н.Н. Иванова [3-6] сформулированы требования подбора минеральных смесей, которые позволили разработать принципы методов проектирования асфальтобетона. Значительное внимание уделено решению вопросов проектирования гранулометрического состава минеральной части асфальтобетона.

Особое значение в развитии исследований в области структуры асфальтобетона имело создание новой области науки, которой является физико-химическая механика. Задачи ее связаны с разработкой научных основ получения материалов с заданной структурой и свойствами, основные принципы которой заложены П.А.Ребиндером [7, 8] и развиты его сотрудниками Н.В.Михайловым, Е.Е.Сеголовой, Н.Б.Урьевым, Е.Д.Щукиным и др.

И.А.Рыбьев [9], исследуя структуру асфальтобетона, выявил закономерности изменения его прочностных характеристик, согласно которым оптимальной структуре соответствует наибольшая прочность материала. Оптимальная структура асфальтобетона характеризуется тем, что вяжущее вещество полностью переведено в пленочное (диффузноструктурированное) состояние и минеральные зерна минеральной смеси максимально сближены между собой. Исследованиями И.А.Рыбьева показано также, что наибольшей прочности асфальтобетона соответствуют наиболее благоприятные показатели других физико-механических свойств.

В исследованиях И.М.Борща, М.И.Волкова, Б.И.Ладыгина, В.М.Смирнова и др. [10-13] особое внимание уделено установлению закономерностей процессов структурообразования в асфальтобетоне в зависимости от характера используемых минеральных и вяжущих материалов. В этих работах выявлены некоторые особенности влияния минерального порошка на процессы структурообразования асфальтобетона.

Существенный вклад в развитие представлений о структурообразовании в битумо-минеральных системах внесли Н.В.Михайлов [14] и В.Stefanczyk [15].

А.С. Колбановская, А.С. Гезенцевей, В.В. Михайлов и И.М. Руденской [16-20] наряду с оценкой структурообразующей роли битумов в асфальтобетоне показали пути регулирования этих свойств.

В работах А.М.Богуславски [21], М.Kalabinska [22.] и В.Stefanczyk [23] получили развитие исследования в области реологии битумов и битумоминеральных систем.

Углублению представления об особенностях взаимодействия минеральных и вяжущих материалов, оказывающих большое влияние на свойства асфальтобетона, способствовали исследования А.И.Лысихиной [24].

Для улучшения взаимодействия составляющих асфальтобетона в ряде случаев рекомендуется применение ПАВ [25-29].

Исследованиями Б.И.Ладыгина и И.К.Яцевича [30] было показано, что щебень образует основной каркас, способствующий устойчивости асфальтобетона при воздействии нагрузки и необходимой шероховатости покрытия. Песок играет роль заполнителя пор между крупными зернами каркаса, а минеральный порошок является структурирующей добавкой, значительно повышающей вязкость и вяжущую способность битума.

Многолетние исследования S.Luszwski [31], В.Stefanczyk [32] показывают, что задача создания асфальтобетона, устойчивого к образованию колеи при наивысших летних температурах, неразрывно связана с сохранением устойчивости к образованию трещин, а тем самым с сохранением необходимой деформативности (пластичности) при отрицательных температурах.

Механизм образования трещин в зимнее время рассмотрен в многочисленных работах [33-42].

Вместе с тем, известно, что наряду с другими причинами трещины образуются зимой, главным образом, при резком понижении температуры вследствие недостаточной пластичности асфальтобетона при низких температурах.

Устойчивость асфальтобетона к образованию трещин в зимнее время определяется наряду с его деформативной способностью, которая при низких температурах в большой степени определяется свойствами битума при этих температурах, степенью структурирования битума минеральными материалами, а также однородностью асфальтобетона.

Вопросами изучения деформативной способности асфальтобетона при отрицательных температурах занимались многие исследователи: А.М.Богуславский [43] Н.В.Горельшев [44-47], Н.М. Распонов [48], В.А. Золотарев [49,50] А.В.Руденский, [51-53], J.Judycki [54, 55] и другие. Они показали, что менее вязкие битумы, как правило, обеспечивают повышенную деформативность асфальтобетона. Как видно, это условие противоположно требованиям, предъявляемым к битуму для получения асфальтобетона с повышенной деформативной устойчивостью при высоких летних температурах. Отсюда следует, что такие реологические свойства битума как вязкость, упругость, деформативность и др. должны удовлетворять двум прямо противоположным требованиям.

Под воздействием низких температур на асфальтобетонном покрытии образуются так называемые «морозные» трещины. Особенность таких трещин заключается в том, что они появляются через несколько лет после завершения

строительства дороги и ориентированы перпендикулярно ее продольной оси. Шаг трещин составляет от нескольких до десятков метров, в наибольшей степени зависит от физико-механических свойств асфальтобетона, от амплитуды и скорости изменений температуры [56], а также от толщины асфальтобетонного слоя и других параметров [57].

Свойства асфальтобетона с течением времени изменяются, поскольку «амплитуда колебаний температур слоев покрытия существенно выше перепада температур воздуха. Например, в зимнее время температура покрытия в дневное время ниже температуры воздуха, а в летнее время наоборот. Колебание температуры внешней среды является источником непрекращающихся структурных превращений в асфальтобетоне, следовательно, под влиянием этих явлений практически непрерывно изменяется число вязких и упругих (с разной жесткостью) элементов в механической модели асфальтобетона» [58].

То обстоятельство, что низкотемпературные трещины параллельны друг другу и перпендикулярны продольной оси дороги, позволяет провести аналогию с осевой деформацией стержня и использовать одномерные модели участка асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги. Такой подход использован в работах [59, 60].

Однако остались нераскрытыми закономерности влияния отрицательной температуры на распределение растягивающих напряжений и деформаций в асфальтобетонном слое. Необходимость продолжения исследований в данной области подчеркивается также в работе [56, р. 35].

Механизм влияния толщины и физико-механических характеристик асфальтобетонного слоя на его трещиностойкость исследован в работе [58, с. 65].

В данной работе сформулированы предложения по предотвращению так называемых «отраженных» трещин. В частности, установлено, что целесообразно уменьшение сцепления между слоем асфальтобетона и плитами основания в области шва, а также увеличение толщины асфальтобетонного слоя.

В ряде публикаций по затронутой теме отмечается, что полностью исключить появление трещин практически невозможно. Однако трещины появляются через несколько лет после завершения строительства [56, р. 35], поэтому реалистичны задачи уменьшения количества трещин, приходящихся на единицу длины дороги, а также задачи увеличения срока службы асфальтобетонного покрытия до появления трещин [58, с. 65]. При этом необходимым условием поиска решения задач является применение современных механико-математических моделей и компьютерных технологий их реализации.

Г.Н. Колесников, Т.А. Гаврилов [61] разработали модель появления низкотемпературных трещин. С применением разработанной модели показано, что сопротивление появлению трещин будет возрастать, если: увеличить толщину асфальтобетонного слоя; уменьшить коэффициент сцепления

асфальтобетонного слоя с нижележащим слоем; повысить прочность материала асфальтобетонного слоя при растяжении, в том числе армированием; уменьшить коэффициент асфальтобетонного слоя при отрицательных температурах.

Левкович Т.И. с группой ученых установили, что расчет резерва деформативной способности асфальтобетонного покрытия необходимо проводить с учетом охлаждения его от 0 °С до среднеинтегральной минимальной расчетной температуры по толщине слоя. Предполагается, что опасная (не залечивающаяся) трещина возникает в том случае, когда фактическая температура в покрытии равна среднеинтегральной (уровень, примерно равный одной трети толщины слоя покрытия).

При неблагоприятных условиях (малая толщина слоя, 5-6 см, общепринятая в целях экономии в Брянских дорожно-строительных и дорожно-эксплуатационных организациях; низких отрицательных значениях среднеинтегральной по толщине температуры слоя достаточно сурового зимнего климата) наступает момент, когда деформативная способность асфальтобетона исчерпывается полностью и покрытие вступает в зону пластических деформаций с неизбежным возникновением не залечивающихся трещин.

По повышению трещиностойкости покрытий в нашей стране и за рубежом разработан целый ряд мероприятий, проведены обширные исследования ведущими учеными. Но до сих пор многие вопросы остаются неясными и требуют углубленного исследования [62].

При быстром падении температуры или при непрерывной низкой температуре в асфальтовом покрытии образуется температурное напряжение [63].

Низкотемпературное растрескивание происходит тогда, когда тепловое напряжение в асфальтобетонном покрытии превышает его прочность [64, 65].

Если комплексное напряжение (температурное напряжение, нагрузочное напряжение и т. Д.) меньше прочности, то оно будет накапливать внутренние микрповреждения, а не образовывать трещины. После большого количества циклов замораживания-оттаивания комплексное напряжение превышает предел прочности асфальтобетонной смеси, что приводит к появлению трещин и других явных деформаций [56,р. 35; 57,р. 70]. Кроме того, если дорожное покрытие находится во влажной среде, гидродинамическое давление и вакуумное сжатие появятся в поверхностном слое при повторяющихся нагрузках транспортного средства [66].

Это приводит к усугублению зачистки и увеличению пустот на поверхности асфальтобетона, а также ускоряет деградацию несущей способности дорожного покрытия. Следовательно, увеличение циклов замораживания-оттаивания или постоянная низкая температура ускоряют деградацию и увеличивают повреждение

К. Монисмит с соавторами [67] разработал первый теоретический метод расчета температурных напряжений в асфальтобетонном покрытии как в

вязкоупругой балке неограниченной длины, взяв за основу теоретическое решение, которое незадолго до этого получили Хамфрейс и Мартин. Благодаря тому, что асфальтобетон в работе К. Монисмита [67, р. 248] рассматривался как вязкоупругий материал, напряжение, определяемое в любой момент времени, зависело не только от температуры в этот момент, но и от ее изменения во все предшествующие моменты времени. Это было достигнуто благодаря применению для описания связи между напряжением, деформацией и временем интеграла Больцмана наследственного типа. Метод, примененный К. Монисмитом, и сейчас используется многими исследователями при изучении напряженного состояния покрытия, вызванного изменением температуры. Боулдин и соавторы [68] рассмотрели температурное напряжение в битуме как в вязкоупругом стержне и констатировали, что критическая температура образования трещины близка к середине температурного интервала стеклования. На основе исследования [68, р. 455] вскоре были разработаны стандарты AASHTO MP1-02, AASHTO PP 42-07 и ASTM D 6816-02, согласно которым температурное напряжение в асфальтобетоне определяется путем умножения вычисленного температурного напряжения в битуме на эмпирическую постоянную, принятую равной 18. Полученная таким путем кривая зависимости напряжения в покрытии от температуры в диапазоне от 0°C до -45°C сравнивается с кривой зависимости прочности вяжущего на растяжение от температуры, измеренной при постоянной скорости растяжения 3%/мин.

Температура, при которой зависимости напряжение–температура и прочность–температура пересекаются, считается критической. Она не должна превышать проектной зимней температуры покрытия в данной местности. Между тем, это предложение имеет ряд серьезных недостатков. Во-первых, прочность на растяжение вяжущего при постоянной скорости растяжения 3%/мин не может характеризовать прочность асфальтобетона при различных скоростях роста напряжений. Во-вторых, вряд ли имеет смысл для оценки температурной трещиностойкости испытывать битум при постоянной скорости роста деформаций, ибо до появления трещины продольная деформация покрытия равна нулю. Если же говорить о скорости нереализованной деформации, то при охлаждении с темпом 1–3°C/ч эта скорость деформации имеет порядок  $10-6 \frac{1}{\text{мин}}$ , т.е. она идет в десятки тысяч раз медленнее, чем при испытании. В-третьих, только одного значения «константы покрытия» недостаточно, чтобы пересчитать напряжение в вяжущем в напряжение в смеси. Такой метод не позволяет отразить влияние вида каменного материала и его зернового состава, а также состава смеси: объем вяжущего, пористость и так далее. Поперечные температурные трещины возникают в покрытии в результате сочетания двух механизмов разрушения: от быстрого однократного охлаждения и от усталости при многократном изменении температуры. В данной работе рассматривается первый механизм. Чтобы лучше понимать возможные пути уменьшения опасности образования температурных трещин,

по мнению авторов, нужна механическая модель, позволяющая прогнозировать реологические и прочностные свойства асфальтобетонной смеси.

Телтаев Б.Б., Радовский Б.С. [69] оценили важные реологические свойства битума, такие как модуль жесткости, модуль релаксации, комплексный модуль и спектр релаксации, с помощью полученных ими формул по данным о пенетрации и температуре размягчения битума.

Одна из самых важных задач создания долговечных покрытий состоит в повышении качества асфальтобетона путем повышения его термостабильности. В проведенных в последние годы исследованиях для повышения качества асфальтобетонных покрытий выделяются следующие направления:

- применение активированных минеральных материалов;
- обеспечение каркасной структуры асфальтобетона;
- применение добавок полимеров к битуму;
- модифицирование свойств битума и асфальтобетона разными минеральными добавками.

Во всем мире постоянно проводятся работы по созданию новых современных дорожных материалов и технологий, корректировке нормативных требований к их физико-механическим свойствам. Все это направлено на повышение долговечности дорожных покрытий в современных условиях их эксплуатации.

Одним из направлений такой деятельности является модификация битума различными полимерными добавками. Поиск наиболее эффективных модификаторов, отработка оптимальных рецептур модифицированного битума, полимерно-битумных эмульсий, а также анализ целесообразности их использования по тому или иному назначению, начатый в 50-е гг. прошлого столетия, продолжают по сей день. Главным ориентиром для принятия технических решений являются результаты постоянно обобщаемого практического опыта [70].

Установлено, что экономически эффективными модификаторами свойств нефтяных битумов являются те, которые доступны и недороги. С технической точки зрения, для создания на основе битумов композиционных материалов с заданным комплексом свойств могут применяться только те модификаторы, которые:

- не разрушаются при температуре приготовления асфальтобетонной смеси;
- совместимы с битумом при проведении процесса смешения на обычном оборудовании при температурах, традиционных для приготовления асфальтобетонных смесей;
- в летнее время повышают сопротивление битумов в составе дорожного покрытия к воздействию сдвиговых напряжений без увеличения их вязкости при температурах смешения и укладки, а также не придают битуму жесткость или ломкость при низких температурах в покрытии;

- химически и физически стабильны, сохраняют присущие им свойства при хранении, переработке, а также в реальных условиях работы в составе дорожного покрытия [71].

В настоящее время в дорожном строительстве используются полимерные добавки различного типа, большинство из которых вводят в битум от 0,5 до 15 % или в асфальтобетонную смесь в количестве 0,1-8 % от общей смеси.

По влиянию на структуру битумов полимерные добавки подразделяются на структурирующие и пластифицирующие.

Полимерные добавки: этиленпропиленовые, бутил-, бутадиеновые, изопреновые, бутадиенстирольные термоэластопласты создают в битуме самостоятельную структурную сетку, упрочняющую коагуляционную структуру битума. Электронно-микроскопическими исследованиями полимербитумных композиций [72-75] показано, что полимерные добавки в пределах 1-2%мас. растворяются, а в основном набухают в дисперсионной среде масляных фракций битума, образуя эластичную сетку, которая вытягивается в направлении прилагаемой нагрузки, воспринимая значительную часть напряжений. Полимерно-битумные вяжущие в большинстве случаев проявляют свойства, присущие эластомерам, при этом расширяется интервал пластичности до 120-150 °С, температура хрупкости снижается до - 40 °С, температура размягчения повышается до 80°С [75,р. 41].

Для повышения трещиностойкости битумных материалов при отрицательных температурах в них также вводят пластифицирующие добавки, не изменяющие коллоидной структуры битумов, понижающие вязкость дисперсионной среды и температуру ее застывания. К пластифицирующим добавкам относятся: гудрон, экстракты селективной очистки масел, индустриальные масла, низкомолекулярные полимеры и олигомеры.

С целью создания модифицированных вяжущих для асфальтобетона используют небольшие добавки полимеров, с учетом соотношения ингредиентов, возможности набухания и образования полимерного каркаса в битумах, в зависимости от размера структурных звеньев молекул и надмолекулярных структур, от поверхностной активности соприкасающихся частиц, группового состава исходного битума, средства добавки к битуму.

Основными критериями при выборе полимерной добавки при приготовлении полимербитумного вяжущего и полимерасфальтобетона являются свойства исходного полимера, качество продукции, экономическая эффективность применяемого модификатора.

К полимерным модифицирующим добавкам относятся полиолефиновые модификаторы битума и асфальтобетона., такие как полиэтилен (ПЭ), атактический полипропилен (АПП), этиленпропиленовый каучук (СКЭП) и т.д. производства СНГ, “Viskoplast-S” фирмы “ROMEX”, «Vestoplast S» компании «HÜLS» (Германия), “Elvaloy” концерна “DUPON” США , «Evatan EVA» фирмы «Elf atochem» (Франция), «Polibit» фирмы «Exxon chemical» (США) [76-80].

Это в основном гранулированные аморфные эластомеры линейного строения, с небольшим количеством непредельных связей (~0,8-2,5%). Полиолефиновые модификаторы технологичны, т.к. при приготовлении асфальтобетонных смесей подаются непосредственно в смесительное отделение АБЗ на нагретый каменный материал в количестве 4,0-8,0 % мас. битума, без увеличения технологического цикла перемешивания или рекомендуется готовить полимерно-битумное вяжущее.

К бутадиен-стирольным модификаторам битума и асфальтобетона относятся термоэластопласты типа ДСТ-30 (Россия), “KRATON” фирмы “KRATON Polimers”, являющиеся гранулированными или порошкообразными аморфными полимерами линейной или разветвленной структуры, молекулы которых содержат мономерные звенья бутадиена и стирола беспорядочно или статистически расположенные в цепи. Непредельность бутадиен-стирольных термоэластопластов с 30% стирольных звеньев составляет около 60-70% от теоретической, что указывает на незначительную степень разветвленности и возможность создания трехмерной структуры.

В плане термомеханической совместимости полимеров с битумом предпочтение следует отдать дивинил-стирольным термопластам из-за наличия в их структуре ароматических ядер и с учетом значительного количества ароматики в составе битума [77, с. 13], в которой набухает полимер.

При использовании полимеров этой группы для приготовления асфальтобетонных смесей готовят полимербитумные вяжущие. Практический опыт приготовления полимербитумных вяжущих путем модификации битума полимерными материалами (ДСТ, “Кратон-Д”) показывает, что качество конечного продукта во многом зависит от условий совмещения (перемешивания) битума с полимером. Необходимость применения установок по приготовлению модифицированных битумов, отличающихся по производительности и набору оборудования, осложняет и удорожает стоимость конечной продукции.

**Полиолефиновые модификаторы битума и асфальтобетона**  
***Полиэтилен, полипропилен, этиленпропиленовый каучук, бутилкаучук.***

Возрастающие потребности строительства в качественных материалах требуют целенаправленного выбора дешевого недефицитного сырья, обеспечивающего высокие эксплуатационные показатели дорожно-строительных материалов.

Полимерные модификаторы битума позволяют расширить температурный интервал работоспособности битума за счет повышения его теплостойкости и морозостойкости, улучшить адгезионные свойства. Использование модифицированных полимерами асфальтобетонов повышает прочностные показатели, водостойкость, улучшает деформативную способность материала во всем интервале эксплуатационных температур [81].

Особое внимание исследователей обращено на модифицирующие добавки, которые выпускаются в виде этилен-винил-ацетатов, этилен-бутил-акрилатов,

этилен метил-акрилатов. Количество функциональных групп может варьировать от 5 до 50%, что определяет присущие этим добавкам механические свойства и совместимость с битумом.

Добавки с незначительным содержанием функциональных групп имеют свойства, близкие к сополимерам полиэтилена низкой плотности. В этом случае наблюдается увеличение жесткости вяжущих.

Несколько иначе ведут себя полимеры со значительным количеством функциональных групп [79, с. 67]. В этом случае установлен эффект взаимодействия активных групп полимеров с окисленными битумами с образованием интерполимерных соединений с взаимопроникающими решетками. Структурные элементы полимеров взаимодействуют между собой по механизму сшивки по двойным связям и полярным группам. При этом парафины, часто содержащиеся в избыточном количестве в битумах и отрицательно влияющие на их свойства, блокируются в ячейках полимерной сетки и тем самым нейтрализуются.

Основными критериями при выборе модифицирующих полимерных добавок являются эксплуатационные свойства готовой продукции, технологичность совмещения битумов с полимерами, доступность и стоимость модифицирующих добавок.

Относительно дешевыми и доступными, наиболее стабильными к термоокислительной деструкции полимерными материалами, выпускаемыми химическими предприятиями СНГ, являются сополимеры этилена с пропиленом, бутилкаучуки, полиэтилен, относящиеся к классу полиолефинов.

Одним из самых распространенных полимеров является полиэтилен (ПЭ). В зависимости от условий полимеризации, т.е. температуры, давления, реакции среды, типа катализатора полиэтилен может быть низкомолекулярным, воскообразным, высокомолекулярным.

Полиэтилен высокого давления (ПЭВД) характеризуется степенью кристалличности 53-67%, плотностью 0,92-0,95 г/см<sup>3</sup>, имеет температуру плавления 108-110<sup>0</sup>С, прочность при растяжении 120-160 кгс/см<sup>2</sup>. ПЭВД менее плотен, имеет больше боковых цепей, менее кристалличен, чем полиэтилен низкого давления.

Полиэтилен низкого давления имеет степень кристалличности 80-90%, плотность 0,94-0,96 г/см<sup>3</sup>, температуру плавления 120-134<sup>0</sup>С, прочность при растяжении 220-350 кгс/см<sup>2</sup>. Температура хрупкости ПЭВД и ПЭНД близка к минус 60-70<sup>0</sup>С.

Степень кристалличности полимера имеет большое значение при совмещении с битумом. ПЭНД плохо совмещается с битумом, возможность его введения ограничивается 5%.

Введением в битум полиэтилена не удастся достичь результатов таких же как и при введении каучуков, однако, простота получения композиций и доступность сырья привлекают внимание исследователей. Молекулярный вес (М.м.) ПЭ также оказывает влияние на свойства полимербитумных композиций, так полиэтилен с М.м. 500-1000 не способен внести какие-либо

существенные изменения в свойства полимербитумных композиций. Полиэтиленовый воск (М.м. 1000-10000) значительно повышает температуру размягчения и понижает температуру хрупкости до  $-25^{\circ}\text{C}$ . Приготовление ПБВ идет при температуре  $160-180^{\circ}\text{C}$ . Длительный прогрев ведет к деструкции материала, полная деструкция с потерей веса происходит при  $320^{\circ}\text{C}$  [82].

Определенный интерес для исследователей представляет продукт полимеризации пропилена-атактический полипропилен (АПП). Этот полимер теплостоек, устойчив к действию агрессивных сред, обладает гибкостью при отрицательных температурах.

Для улучшения свойств композиционных материалов применяются также добавки бутилкаучука (БК), этиленпропиленового каучука (СКЭПТ).

Изменение свойств полимербитумных композиций при введении в битум 5-10 % мас. полиэтилена (ПЭ), бутил – (БК), этиленпропиленового (СКЭП-30) каучука повышают температуру размягчения ПБВ на  $20-45^{\circ}\text{C}$ , расширяют интервал пластичности, при этом температура хрупкости изменяется незначительно и составляет минус  $7-15^{\circ}\text{C}$ . Растяжимость при  $25^{\circ}\text{C}$  и относительное удлинение при разрыве ПБВ с олефиновыми модификаторами резко снижаются. Несколько меньшее изменение этих показателей наблюдается при нулевой температуре [72, с. 19].

#### *Элвалой АМ – модификатор битума.*

Термопласт Элвалой АМ концерна DUPON (США) применяется для модификации битума. Выпускается в виде гранул белого цвета размером  $(1-3)\cdot 10^{-4}\text{м}$  и состоит из этилен-глицидил-акрилата. Этиленовая основа полимера модифицирована функциональными группами. Группа глицидила придает полимеру реакционные свойства, подобные свойствам эпоксидной смолы, а функциональные группы акрилата придают гибкость и эластичность полимерному каркасу. Насыщенная этиленовая основа полимера стабильна к окислительному старению. Элвалой хорошо совмещается с битумом, что позволяет готовить модифицированный битум на АБЗ в емкостях, оборудованных мешалками или на бескомпрессорных установках [69, р. 148].

Температура плавления Элвалоля АМ  $190^{\circ}\text{C}$ , а температура смешения с битумом  $195-205^{\circ}\text{C}$ .

Для модификации дорожных битумов марок БНД 90/130 и БНД 130/200 достаточно 1-3% Элвалоля. Введение 1,5% полимера в битум БНД 90/130 понижает глубину проникания иглы при  $25^{\circ}\text{C}$  на  $21-23\cdot 0,1$  мм, а введение 2% полимера в битум БНД 130/200 понижает этот показатель на  $57-74\cdot 0,1$  мм. В последнем случае достигается переход исходного битума в более вязкую марку БНД 90/130, граничащую с маркой БНД 60/90. Температура размягчения полимербитумного вяжущего с увеличением содержания полимера растет. Отличительной особенностью битумов модифицированных Элвалоем является практически неизменная температура хрупкости. После введения полимера она остается почти такой же, как и у исходного битума. В соответствии с этим, для обеспечения трещиностойкости асфальтобетона при низких температурах

используются маловязкие битумы. Показатели свойств асфальтобетона существенно зависят от содержания Элвалоля в вяжущем.

С ростом его содержания увеличиваются показатели прочности при сжатии, уменьшается водонасыщение, повышается коэффициент водоустойчивости, что хорошо коррелируется с повышением адгезии полимербитумного вяжущего к минеральной поверхности. С ростом содержания полимера сопротивление асфальтобетона сдвигу существенно (~ в 3 раза) увеличивается.

Таким образом, модификация исходного битума термопластом Элвалой приводит к повышению температуры размягчения вяжущего, увеличению его адгезионно-когезионных свойств. При этом степень нарастания температуры размягчения вяжущего при равном количестве полимера тем выше, чем ниже вязкость исходного битума.

Настораживает тот факт, что растяжимость при 25 °С существенно снижается, а эластичность возрастает незначительно (60%). Технологические параметры приготовления полимерно-битумного вяжущего с Элвалоем завышены и составляют 195-200°С (температура перемешивания битума с термопластом в течение двух часов), температура приготовления асфальтобетонной смеси – 175-185°С, а уплотнение – 160- 175°С, что может привести к преждевременному старению битума.

#### ***Вископласт – полимер для модификации асфальтобетона***

Вископласт (Viskoplast-S) – термопластичный аморфный полимер, улучшающий свойства асфальтобетона, выпускается немецкой фирмой “РОМЕКС”. Вископласт готовится из альфаолифенов и представляет собой эфир, пропен, бутен-1, имеет температуру размягчения (КиШ) около 100°С, пенетрацию при 25°С около 18·0,1мм, температуру хрупкости около минус 30°С, вязкость при 190°С на ротационном вискозиметре ~ 10000 МПа·с. Вископласт является ненасыщенным, свободным от двойных связей углеводородным полимером, не содержит функциональных групп и поэтому рассматривается как неполярный, не растворим в воде. Вископласт относительно стабилен, к тому же при изготовлении в него вводятся стабилизаторы, защищающие его от термического окисления.

Добавка Вископласта повышает прочностные свойства асфальтобетона, водостойкость, деформативную устойчивость асфальтобетонного покрытия при высоких и низких эксплуатационных температурах; повышает износостойкость покрытия; уменьшает волно- и колеобразование на покрытии, повышает межремонтные сроки и соответственно снижает эксплуатационные затраты [83]

Отличительной особенностью Вископласта является технология приготовления асфальтобетона.

Вископласт, как и отходы производства полиэтилена и атактический пропилен, подается непосредственно в смеситель асфальтобетонного завода на разогретый до 150-170 °С каменный материал и перемешивается в течение 15 с. Затем в смеситель подается нагретый до рабочей температуры битум, при этом

общее время приготовления смеси не изменяется. Расход Вископласта 7% от массы битума (4 кг на 1000 кг асфальтобетонной смеси).

Вископласт, попадая на нагретый каменный материал, плавится, образует жидкую, сильно клеящую массу, покрывает каменный материал тонкой пленкой, увеличивает адгезию битума. Эта особенность отличает его от других полимеров, используемых в основном для модификации битумов, т.к. бутадиенстирольные модификаторы из-за высокой вязкости в начале совмещаются с битумом, а затем используются для приготовления асфальтобетонных смесей. Оборудование для подачи гранулированного Вископласта в смеситель (элеватор, шнек, весовой дозатор) значительно проще установок для приготовления полимерно-битумных вяжущих.

Вископласт с токсикологической и экологической точки зрения безопасен, т.к. при горении образуется вода и окись углерода. При окислительной деструкции когезия (твердость) Вископласта снижается, адгезия сохраняется. Полностью окисленный Вископласт остается мягким, очень клейким и может частично компенсировать жесткость битума.

Использование асфальтобетонных смесей с Вископластом рекомендуется для устройства участков дорог, работающих при экстремальных нагрузках – на автобусных трассах, окружных дорогах, транспортных развязках.

#### **Бутадиен-стирольные модификаторы битума**

##### ***Дивинил-стирольный термоэластопласт (ДСТ)***

Бутадиен-стирольные каучуки являются наиболее распространенным видом синтетических эластомеров. Они представляют собой сополимеры бутадиена и стирола или  $\alpha$ -метилстирола, полученные методом эмульсионной полимеризации. Соплимеры бутадиена и стирола выпускаются почти во всех экономически развитых странах, причем число торговых марок превышает 200 наименований. Широкий ассортимент выпускаемых бутадиен-стирольных каучуков различается физико-механическими и технологическими свойствами в зависимости от соотношения мономеров, условий полимеризации, характера иницирующей системы, типа и содержания регулятора полимеризации, температуры полимеризации, состава эмульгатора, степени превращения мономеров [76, с. 67; 77, с. 13].

Введение в состав битума 2-3 % бутадиенстирольного (СКС) каучука производства ОАО “Воронежсинтезкаучук” позволяет значительно улучшить качество битума и горячих асфальтобетонных смесей, что повышает межремонтные сроки асфальтобетонных покрытий /

К числу бутадиен-стирольных полимеров относятся: блок-сополимеры бутадиена и стирола типа СБС, дивинил-стирольные термоэластопласты ДСТ 30-01, ДСТ-30Р-01 (Россия), а также их зарубежные аналоги: Буна S (Германия), Дарекс, FR-S (США), Интол (Англия), Европрен Сол Т 161 фирмы “Эникем” (Италия), Полисар-S (Канада), Финапрен 502, Финапрен 411 фирмы “Петрофина”, Кратон Д 1101, Кратон Д 1184, Кратон 1186 фирмы “KRATON Polimers” [84].

Блок-сополимеры бутадиена и стирола являются линейными или разветвленными, аморфными полимерами, молекулы которых содержат мономерные звенья бутадиена и стирола, беспорядочно или статистически расположенные в цепи. Бутадиеновые звенья связаны между собой как в положении 1,4 (75-80%) от общего количества, так и в положении 1,2 (около 23%), 30% мономерных звеньев стирола расположены в цепи изолированно, около 40% - попарно. Непредельность бутадиен-стирольных каучуков с 30% стирольных звеньев составляет около 60-70% от теоретической, что указывает на значительную степень разветвленности молекул.

Средняя молекулярная масса наиболее распространенного полимера бутадиена и стирола состава 70:30 составляет  $(1,5-4) \cdot 10^5$ , плотность- 0,93-0,95 кг/м<sup>3</sup>, температура стеклования – минус 56<sup>0</sup>С, клейкость-800 г/см, относительное удлинение-700-800%, прочность при растяжении-22,0—30,0 МПа, эластичность в диапазоне температур 50-100<sup>0</sup>С – 85%, начальная температура разложения-254<sup>0</sup>С.

Физико-химические и технологические свойства бутадиен-стирольных сополимеров зависят от соотношения бутадиена и стирола. С уменьшением количества стирола до 10% и введении добавок метакриловой кислоты (1,25 вес.ч) температура стеклования снижается до минус 75<sup>0</sup>С. Бутадиен-стирольные сополимеры частично растворяются и набухают в бензоле, бензине, гудронах, сольвенте, промышленных маслах. Химическая активность бутадиен-стирольных сополимеров в основном определяется содержанием и типом двойных связей в бутадиеновых звеньях [77,с. 13].

При введении в горячий битум полимера типа СБС, он начинает поглощать неасфальтеновые компоненты битума, при этом связи в доменах стирола ослабляются и как результат, происходит отделение индивидуальных молекул из системы и начинается взаимодействие. Происходит увеличение объема полимера в 9 раз по сравнению с первоначальным. Набухший полимер становится наиболее важным компонентом в объеме битума, образуя пространственную структурную сетку. При остывании битума полистирольные конечные блоки создают при температуре ниже 100 °С области, которые физически определяются как точки пересечения пространственной системы молекул полибутилена.

Полистирольные конечные блоки придают прочность структуре, а полибутадиеновый средний блок придает материалу исключительную эластичность (упругость). При повторном повышении температуры более 100 °С полистирольные блоки размягчаются и материал снова растекается.

Дивинил-стирольный термоэластопласт в невулканизированном состоянии обладает свойствами сшитых трехмерных структур, а при нагревании до 100-150<sup>0</sup>С обратимо превращается в линейный полимер. Деструкция ДСТ наступает при температуре выше 250<sup>0</sup>С. ДСТ сочетает высокую прочность до 80<sup>0</sup>С и эластичность эластомеров до минус 80<sup>0</sup>С.

В плане термомеханической совместимости полимеров с битумом предпочтение следует отдать дивинил-стирольному термоэластомеру из-за

наличия в его структуре ароматических ядер с учетом значительного количества ароматики в составе битума.

Технологические параметры получения полимербитумного вяжущего на основе блок-сополимеров стирол-бутадиен-стирола (СБС) зависят от физических характеристик полимера. Для равномерного совмещения порошкообразного полимера с битумом, нагретым до температуры 180-190<sup>0</sup>С, требуется 2 часа, а пористые гранулы распределяются при интенсивном перемешивании в течение 5-8 часов.

Предварительное набухание СБС в пластификаторе значительно облегчает процесс приготовления ПБВ. В качестве пластификаторов предлагается использовать индустриальные масла марок И-20А, И-30А, И-40А, И-50А, гудрон или их смеси, а также сольвент, дизельное топливо и т.д. [79,с. 16].

Пластификатор позволяет существенно ускорить процесс приготовления ПБВ, снизить стоимость, повысить производительность АБЗ при приготовлении смеси, снизить содержание в ней вяжущего, повысить удобоукладываемость и уплотняемость смесей. Пластификатор повышает трещиностойкость ПБВ при любой требуемой теплостойкости.

Полимербитумные вяжущие существенно отличаются от битумов высокой эластичностью, теплостойкостью, прочностью, трещиностойкостью.

Полимерасфальтобетон с использованием ДСТ удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к горячему асфальтобетону по ГОСТ 9128, и отличается повышенной деформативностью при низких отрицательных температурах, большей прочностью при 50<sup>0</sup>С, большей водо- и морозоустойчивостью. Специалистами СоюздорНИИ [76 с. 67] показано, что вязкость и упругость асфальтобетона на основе ПБВ 90/130 с использованием ДСТ в 5-6 раз выше, чем на битуме марки БНД 60/90, а прочность выше в три с лишним раза, что позволяет предположить значительно более высокую сдвигоустойчивость полимерасфальтобетона.

Определенный практический интерес представляют битумо-минеральные материалы, приготовленные с применением разжиженных полимербитумных вяжущих (на ДСТ), т.к. являясь теплыми, удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к битумо-минеральным материалам, приготовленным на вязком битуме (74) Используя разжиженные ПБВ, приготовив предварительно раствор ДСТ в сольвенте, бензине или дизельном топливе при температуре 60-80<sup>0</sup>С, его совмещают с нагретым до 90-110<sup>0</sup>С битумом, перемешивают до однородного состояния, затем подают в асфальтосмеситель.

Самый большой недостаток ПБВ и полимерасфальтобетонов – их высокая стоимость – выдвигает на первое место задачу оптимизации их составов, путем снижения расхода полимера при обеспечении всех требований по качеству.

Второй путь – применение порошкообразных бутадиен-стирольных модификаторов битума с высоким молекулярным весом, но с той же совместимостью, которых в России пока нет.

Третий путь – использование кавитационных смесителей для гомогенизации состава полимер-битумного вяжущего

### **Кратон-Д**

По технологии фирмы “Shell” в Европейских странах выпускаются бутадиен-стирольные термоэластопласты, имеющие торговую марку Кратон-Д. До 1995 г. сополимеры SBS (стирол-бутадиен-стирол) имели торговую марку “Карифлекс TR”.

Ассортимент блок сополимеров Кратон-Д меняется в зависимости от соотношения мономеров, строения полимерной цепи, физико-механических свойств эластомеров. Опудренные пористые гранулы Кратон-Д обозначаются символами TR-1101S, TR-1102S, TR-1107S, TR-1184S, TR-1186S; порошкообразный продукт – TR-1101M, TR-1184M, TR-1186M; пористые гранулы имеют обозначение TR-1101, TR-1102, TR-1107, TR-1184, к тому же разновидности TR-1101 и TR-1102 содержат 31-29% стирола, имеют линейное строение S-B-S (С-Б-С) блоков; эластомер TR-1107 содержит 15% изопрена; TR-1184 и TR-1186 содержит 30% стирола и имеют разветвленную структуру. Блоксополимеры Кратон-Д с индексами TR 4113S, TR 4122S содержат 35-50% стирола имеют линейное строение, а с индексами TR-4260S – TR 4262S содержат 42-48% стирола и имеют разветвленное строение [85].

Кратон-Д 1101 СМ линейный блоксополимер с содержанием стирола 31% классифицируется, как каучук синтетический (синонимы термоэластопласт (ТЭП, TR, СБС) – твердый белый порошок или гранулы, без запаха, плотность 940 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность 400 кг/м<sup>3</sup>, нерастворим в воде, растворим в ароматических и хлорированных углеводородах, устойчив к окислению, применяется для модификации битумов. Установлено, что оптимальной температурой совмещения битума с полимером является температура 170-190<sup>0</sup>С. Время, необходимое для достижения однородной смеси эластомера с битумом меняется в зависимости от молекулярного веса и содержания стирола в блоксополимере. С увеличением молекулярного веса и содержания стирола в эластомере время совмещения его с битумом увеличивается.

Эластомер TR-1107 на основе изопрена с содержанием стирола 15% обеспечивает самый короткий период перемешивания. Эластомер TR в виде порошка распределяется и растворяется быстрее, чем пористые гранулы.

При использовании порошкообразного полимера необходимо осуществлять постепенный ввод, так как добавление больших количеств за один раз может повлечь за собой не полное растворение полимера.

Смешение порошкообразного эластомера с битумом можно осуществлять на оборудовании с малыми усилиями сдвига, полностью исключив стадию измельчения.

Кратон также как и ДСТ можно предварительно растворить в масле. Подходящими маслами являются низкокипящие масла. Одновременно с добавлением одного процента СБС вводится 3 % масла. Введение масла улучшает показатели свойств модифицированного битума и полимерасфальтобетона при низких температурах, но увеличение содержания масла может отрицательно повлиять на несущую способность покрытия.

Таким образом, полимерные модификаторы битума и асфальтобетона позволяют расширить температурный интервал работоспособности битума за счет повышения его теплостойкости и морозостойкости, улучшить адгезионные свойства. Использование модифицированных полимерами асфальтобетонов повышает прочностные показатели, водостойкость, улучшает деформативную способность материала во всем интервале эксплуатационных температур [86].

U. Isacsson и H. Zeng [87] провели лабораторное исследование с целью изучения различных типов модифицированного полимером битума при низких температурных поведениях. Испытание на низкотемпературную устойчивость (TSRST) использовали для оценки определения прочности асфальтобетонных смесей к образованию трещин при низкой температуре. Были исследованы пять полимерно-модифицированных битумов и три типа асфальтобетонных смесей (плотные, ЩМА и пористый асфальтобетон). На основании полученных результатов был сделан вывод, что:

- тип полимера, тип смеси и степень старения влияют на низкотемпературные свойства асфальтобетона;
- повышение температуры разрушения в процессе старения зависит от смеси и типа полимера;
- использование модифицированных связующих могут улучшить низкотемпературные свойства асфальтобетонных смесей.

Тип смеси, тип полимера и время старения влияют на свойства низкотемпературных полимерных модифицированного асфальтобетонных смесей.

При лабораторном старении (при 85 ° С до 100 дней) снижается устойчивость к низкотемпературному растрескиванию полимерасфальтобетонов (повышенная температура разрушения TSRST). Степень снижения зависит от типа смеси (содержание остаточной пористости) и типа полимера.

Было установлено зависимость между температурой разрушения и температуры перехода. В общем, образец асфальтобетона разрушился при температуре около 10 ° С. Результаты данного исследования показывают, что разница между трещиной и температурой перехода не зависит от степени связующего и источника, а также степени старения.

Ограниченные исследования указывают на то, что использование полимерных модифицированных связующих повышает устойчивость к термическому растрескиванию из асфальтобетонных смесей при низких температурах.

Эти же авторы [88] описали влияние реологии битума на низкотемпературное поведение асфальтобетонных смесей. Изучено пять битумов из четырех источников и трех разных типов смеси. Реологические характеристики связующих измерялись с использованием традиционных методов (проникновение, температура размягчения и вязкости), а также динамического механического анализа (ДМА). Низкотемпературные свойства асфальтобетона, характеризующегося температурой разрушения, были

измерены с помощью испытаний на термический стресс (TSRST). Установлены статистически значимые соотношения между реологическими характеристиками битумов и температурами разрыва TSRST образцов асфальта.

TSRST оказался интересным инструментом для ускоренного тестирования характеристик асфальтобетонных покрытий при низких температурах в реальных полевых условиях.

Реологические свойства битума имеют фундаментальное значение для выполнения испытаний асфальтобетонных покрытий на практике. Традиционно, физические характеристики связующего были определены с использованием эмпирических методов испытаний (то есть проникновения и размягчения). В течение последнего десятилетия наблюдался растущий интерес к использованию более научных приборов - реометров для измерения вязкоупругих свойств битумных вяжущих.

Что касается старения, содержание воздушной массы в смеси имеет большое значение. Из-за высокого содержания воздушных пустот окислительное старение происходит быстрее в пористом асфальтобетоне по сравнению с каменной мастикой и плотным гранулированным асфальтом, что в значительной степени влияет на низкотемпературное поведение асфальтобетонного покрытия.

Это исследование продемонстрировало статистически значимые взаимосвязи между реологическими характеристиками битума (комплексного модуля и фазового угла), полученными с использованием динамического механического анализа и низкотемпературных свойств асфальта (температура разрушения). Однако отклонение от линейности при 100 днях старения при 85 ° C, особенно для пористого асфальта сомнительно. Действительно ли вяжущее после такого старения является битумом в полном смысле этого слова. Если результаты на образцах в возрасте 100 дней не указаны, для всех трех типов смеси с коэффициентами корреляции между 0.84 и 0.88 доказана значимая корреляция (уровень риска 5%) между комплексным модулем и температурой разрыва. Чтобы имитировать полевые условия, температуру испытания реометра следует выбирать так, чтобы она была достаточно низкой. ДМА проводили на вяжущих до -30 ° C.

Считается, что низкотемпературная устойчивость асфальтобетона определяется, главным образом, свойствами битума в нем и при правильном выборе вяжущего можно существенно сократить количество трещин. Так, в разработанной в США Технической системе Superpave принято, что низкотемпературная устойчивость битумного вяжущего обеспечена, если при расчетной низкой температуре его жесткость ( $S$ ) меньше 300 МПа и показателя скорости релаксации ( $m$ ) больше 0,3. В системе SHRP Superpave температуры, отвечающие критическим значениям ( $S$ ) и ( $m$ ), используются для выбора оптимального по трещиностойкости битумного вяжущего применительно к дорожно-климатической зоне, для которой оно предназначено. Однако эти

температуры относятся к исходному вяжущему, без учёта того, как оно изменяется после циклического замораживания-оттаивания.

Б.Б. Телтаев [89] с группой исследователей получили новые результаты, раскрывающие влияние циклического замораживания-оттаивания на модуль жесткости и скорость релаксации. Эти результаты в отношении изменения скорости релаксации после циклического замораживания-оттаивания не отвечают общепринятым представлениям. Установлены новые эффекты, свидетельствующие о необходимости проведения более глубоких экспериментальных исследований и учета циклического замораживания-оттаивания при назначении расчетных реологических характеристик битумных вяжущих.

В Казахстане на сегодняшний день действуют следующие стандарты, нормирующие свойства асфальтобетонов:

СТ РК 1225-2019 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия;

СТ РК 1223-2019 Смеси полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и полимерасфальтобетон. Технические условия;

СТ РК 2373-2019 Смеси щебеночно-мастичные полимерасфальтобетонные дорожные, аэродромные и щебеночно-мастичный полимерасфальтобетон. Технические условия

ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия;

ГОСТ 31015-2002 Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия

Из анализа требований вышеназванных стандартов по низкотемпературным показателям следует, что все виды и типы асфальтобетонов для верхнего слоя асфальтобетонного покрытия нормируются по пределу прочности при сжатии при температуре 0 °С, трещиностойкости по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин.

В 2019 разработан национальный стандарт, устанавливающий требования к методу определения низкотемпературного трещинообразования - СТ РК EN 12697-46-2019 Смеси битумные Методы испытаний горячих асфальтобетонных смесей. Часть 46. Определение низкотемпературного трещинообразования и свойств при испытании на одноосное растяжение.

Низкотемпературные свойства битумов дорожных вязких, нормируемые СТ РК 1373-2013:

- глубина проникания иглы при температуре 0 °С;
- растяжимость при температуре 0 °С;
- температура хрупкости по Фраасу

В требованиях национального стандарта к модифицированным битумам интервал работоспособности по Суперпейв приведен как дополнительный показатель.

### **Выводы по 1 разделу**

- Изучение процесса структурообразования в асфальтобетоне показало, что оно определяется свойствами минеральных материалов, но в большей степени свойствами объемного и структурированного битума.

- Изучение современного подхода к назначению битумов с целью нормирования структуры асфальтобетона, устойчивой к низкотемпературному трещинообразованию позволило определить требования, которым должен соответствовать битум

- Битумы должны обеспечить нормальную работу асфальтобетонного покрытия на территории Республики Казахстан и соответствовать по теплостойкости расчетным температурам асфальтобетонных покрытий региона строительства;

- Изучение мирового и отечественного опыта показали, что добиться этого соответствия можно путем использования полимерных модификаторов;

## **2 БИТУМЫ**

### **2.1 Выбор битумов**

Во всем мире наиболее распространенным материалом дорожного покрытия и верхних слоев оснований является асфальтобетон, для приготовления которого в качестве вяжущего используется битум. Результаты исследований и практическим опытом установлено, что свойства и качество битума являются основными факторами, влияющими на качество конечного продукта – асфальтобетона.

В настоящее время в мире выпускают около 100 млн. тонн битума в год, из них около 25 млн. тонн приходится на США, по 3-3,6 млн. тонн на Францию и Германию, Великобританию -1,3 млн. тонн, Турция 2,9 млн. тонн, Италию и Испанию соответственно 1,6 и 1 млн. тонн, в Казахстане в 2020 году произведено 983,8 тыс. тонн из которых 524,4 тыс. тонн предназначены для строительства дорог республиканского, а 459,5 тыс. тонн местного значения.

Для приготовления асфальтобетонных смесей применяют битумы нефтяные дорожные вязкие согласно СТ РК 1373 [90].

Важнейшим фактором, который должен учитываться при выборе марки битума, является его консистенция (вязкость), которая характеризуется показателем величины пенетрации и температура размягчения.

На территории Республики Казахстан имеются основных 4 завода, выпускающие битум: ТОО «Павлодарский нефтехимический завод» г. Павлодар (ПНХЗ); ТОО «ТОО "КАЗАХ БИТУМ"» г. Шымкент; ТОО «Асфальтобетон-1» г. Алматы; ТОО «СП «Caspі-Bitum» г. Актау.

В настоящей работе были использованы чистые битумы марок БНД 100/130 и БНД 130/200, удовлетворяющие требованиям Казахстанского стандарта СТ РК 1373 [91].

Выбор битума и марки битума обоснован имеющимися результатами испытаний асфальтобетонов, отработанных и апробированных в АО «КаздорНИИ».

### **2.2 Стандартные показатели битумов**

Основные стандартные показатели битумов были определены в лаборатории «КаздорНИИ». В таблице 1 приведены физико-механические характеристики битумов марок БНД 100/130 и БНД 130/200 производства Павлодарского нефтехимического завода (ПНХЗ).

При испытаниях битумных вяжущих определены следующие основные стандартные показатели:

2.2.1 Глубина проникания иглы (пенетрация) – пенетрация битума при 25 °С является не столько характеристикой его вязкости, сколько характеристикой его прочности на сдвиге при введении в него стандартной иглы. Чем ниже

пенетрация, тем прочнее слой битума, который склеивает частицы каменных материалов в асфальтобетоне.

То есть, сущность испытания заключается в измерении глубины, на которую погружается игла пенетromетра в испытуемый образец битума при заданной нагрузке, температуре и времени и выражается в единицах, соответствующих десятым долям миллиметра (0,1 мм). Чем больше вязкость, тем меньше проникание иглы в битум (рисунок 1).



Рисунок 1 - Пенетрометр автоматический для битумов и нефтепродуктов «ЛинтеЛ ПН-20Б»

### 2.2.2 Температура размягчения по кольцу и шару (КиШ)

Характеризует переход битума вязкотекучее состояние. Это температура, при которой металлический шар диаметром 9,5 мм и массой 3,5 г, располагаемый перед началом испытания на поверхности битума, залитого в ступенчатое кольцо с внутренним диаметром 15,7 мм и высотой 6,35 мм, в процессе нагрева, начиная от 5 °С, со скоростью 5 град/мин коснется нижней поверхности измерительного прибора. Суть испытания отражена в его названии: температура размягчения по кольцу и шару (КиШ).

Чем меньше температура размягчения, тем менее температуростойчив битум, тем вероятнее, что асфальтобетонное покрытие, в котором он использован, будет подвержено пластическим (необратимым) деформациям в виде волн, наплывов, колея. Очевидно, что чем жарче район устройства

асфальтобетонного покрытия, тем целесообразнее применение битума с меньшей пенетрацией и более высокой температурой размягчения.

Метод является важным для определения физико-химических свойств марок битумов (рисунок 2).



Рисунок 2 - Аппарат автоматический «ЛинтеЛ КиШ-20» для определения температуры размягчения нефтебитумов

### 2.2.3 Растяжимость

Одним из наиболее ранних показателей оценки качества битумов является их способность растягиваться с образованием тонкой нити.

Это способность оценивается **показателем растяжимости**, который определяется по удлинению шейки образца восьмерки при его растяжении с определенной скоростью (0,5 мм/мин) при температуре 25 °С в специальном приборе дуктилометре (рисунок 3) отсюда широко распространен термин дуктильность, характеризующий растяжимость. Долгое время считалось, что битум должен обладать хорошей растяжимостью, чтоб обеспечивать сплошность асфальтобетонного покрытия. Такой подход физически оправдан. Если бы битум не обладал этим свойством, асфальтобетон потерял бы свою деформационную способность и растрескивался или даже рассыпался не только в зимнее время года, но и летом.

Растяжимость тесно связана с наличием в битуме смол. Именно смолы обладают способностью вытягиваться в нити.

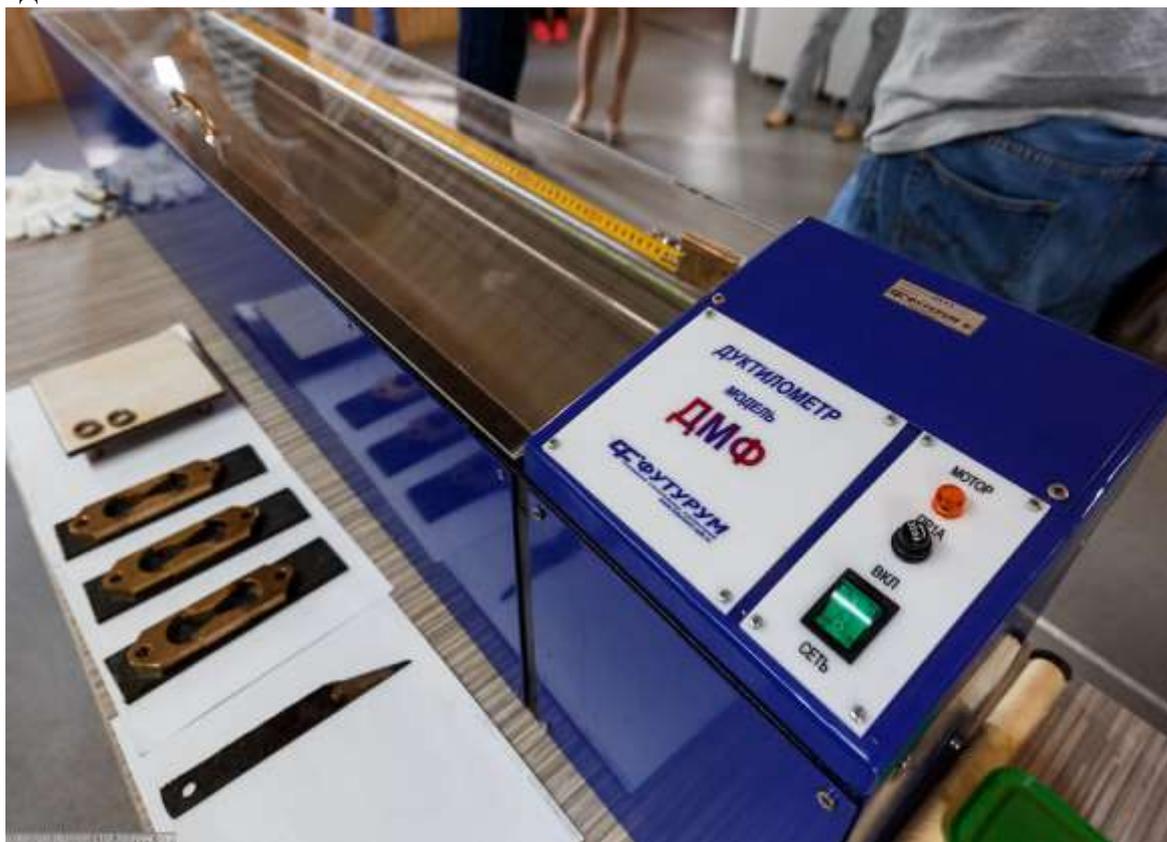


Рисунок 3 - Электромеханический дуктилометр «ДМФ-1480»

2.2.4 Динамическая вязкость - отношение применяемого напряжения сдвига к скорости сдвига жидкости, определяется с помощью ротационных вискозиметров при температуре от 40 °С и в диапазоне значений от 0,001 до 5000 Па·с.

Одним из реологических свойств битума является вязкость. Битум является ярким представителем вязкоупругих тел, степень вязкости и упругости которых зависит от температуры. Показателем свойств вязкости предусмотренных стандартом и делится на динамическую и кинематическую вязкость. Вязкость – это сопротивление слоев жидкости перемещению друг относительно друга на молекулярном уровне.

#### 2.2.5 Кинематическая вязкость

Характеризует текучесть жидкостей при определенной температуре. Метод используют для определения консистенции битума как одного из элементов при установлении однородности партий или источников поставок. В технической документации кинематическая вязкость регламентируется при значениях температуры 60°С и 135°С. Измеряют время протекания определенного объема жидкости через капилляр калиброванного стеклянного вискозиметра при точно воспроизводимой высоте столба жидкости и точно контролируемой температуре. Кинематическую вязкость рассчитывают путем

умножения времени истечения в секундах на коэффициент калибровки вискозиметра.

Без знания этих зависимостей нельзя рассчитать мощность технологического оборудования при перекачке битума по трубам, назначить температуры нагрева битумов при производстве различных материалов на их основе.

Кроме технических свойств, битумы также должны обладать и определенными технологическими свойствами. Важнейшим из них является *температура вспышки*, которая ограничивает температуру нагрева битумов при технологическом их использовании для любых дорожных материалов и работ.

#### 2.2.6 Температура вспышки

Это температура, при которой пары нагреваемого с определенной скоростью подъема температуры битума при контакте с открытым пламенем вспыхивают на короткий промежуток времени. Превышение этой температуры может привести к воспламенению битума в технологических емкостях и взрывоподобному его выбросу из них. Температура вспышки вязких битумов в зависимости от марки колеблется в пределах от 220 до 240 °С (рисунок 4).



Рисунок 4 - Прибор для определения температуры вспышки в открытом тигле

Чтобы предупредить низкотемпературное трещинообразование асфальтобетонов, битум должен быть деформативно способным при отрицательных температурах. Для прогнозирования трещиностойкости определяют температуру хрупкости битума.

#### 2.2.7 Температура хрупкости

Это температура перехода битума в хрупкое, близкое к стеклообразному состоянию. Ее определяют как температуру, при которой на поверхности слоя битума, нанесенного на упругую металлическую пластину, при изгибе возникает трещина (рисунок 5). Рабочую часть прибора Фраас с пластиной помещают в охлаждающую среду. Изгибание пластины с определенной скоростью производят при каждом понижении температуры на 1 °С до тех пор, пока не будет зафиксирована первая трещина.

Естественно, что более трещиностойкими являются битумы, у которых температура хрупкости ниже, а также асфальтобетоны на основе этих битумов.



Рисунок 5 - Автоматический прибор для определения температуры хрупкости

#### 2.2.8 Индекс пенетрации

По известным значениям глубины проникания иглы при 25 °С и температуры размягчения определяют *индекс пенетрации*, характеризующих температурную чувствительность битумов.

Согласно Ж.Ф. Перейферу и П.М. Дормалю, предложившим этот показатель [85-87], расчет производится в два этапа. На первом определяют

коэффициент температурной чувствительности битума, а на втором – индекс пенетрации. Значение индекса пенетрации является одним из критериев разделения битумов на три структурных типа. На практике определение индекса пенетрации вычисляют по таблицам, приводимым в стандартах.

Индекс пенетрации — это характеристика термочувствительности битумных компонентов, определяется как разница температур размягчения и хрупкости.

#### 2.2.9 Растворимость битума

Определение *растворимости битума* служит испытанием битума на чистоту, гарантирующим, что битум не содержит кокса или других посторонних веществ. Согласно методике подготовленный битум в количестве 5 г растворяют в 100 см<sup>3</sup> растворителе, в качестве растворителя используют бензол или хлороформ или трихлорэтилен. Колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup> нагревают с обратным холодильником в водяной бане, далее промывают через фильтр для определения масса нерастворимого осадка на фильтре.

В республике Казахстан при строительстве автомобильных дорог широко применяются битумы, получаемые из нефти, содержащих повышенное количество углеводородов парафинового ряда. Повышенное содержание парафина в составе битума отрицательно сказывается на качестве битума. Парафинистые битумы отличаются повышенной хрупкостью при отрицательных температурах, низкой теплоустойчивостью и плохим сцеплением с минеральными материалами.

#### 2.2.10 Старение битума

Технология приготовления битумосодержащих материалов предполагают длительное выдерживание битумов при высоких технологических температурах. Это может привести к изменению свойств битума по сравнению с исходными, которыми он обладает до нагрева. Изменение свойств битума под влиянием температуры, кислорода воздуха, солнечного света называется *старением*. В основе его лежат процессы окислительной полимеризации, подобные тем, что происходят при окислении гудрона в битум, и процессы испарения легких фракций. Интенсивность этих процессов зависит от температуры. Битумы стареют тем быстрее, чем выше их температура. В соответствии с этим выделяют процессы эксплуатационного старения (при нагреве асфальтобетонных покрытий) и технологического старения, отвечающее этапу технологической переработки. Именно на этом этапе старение битумов является наиболее интенсивным. В связи с этим в стандарты включен *метод определения старения*, заключающийся в определении пенетрации, температуры размягчения и изменения массы битума после прогрева в слое толщиной 2,4 мм при температуре 163 °С в течение 5 часов.

В стандартах для оценки как технологического, так и эксплуатационного старения используется метод (RTFOT) – определения изменения температуры размягчения, пенетрации и массы битума после прогрева во вращающемся

стеклянном цилиндре с одновременной подачей в цилиндр разогретого воздуха (рисунок 6) [92].

Кратковременное старение битумных вяжущих в вертикальной тонкопленочной вращающейся печи (RTFO) было выполнено по стандарту AASHTO T 240-08 [95], которое моделирует старение битума в процессе приготовления асфальтобетонной смеси, её транспортировки, укладки и уплотнения. Образцы битумных вяжущих находились в печи при температуре 150 °С в течение 75 минут.

При перемешивании в смесительной установке и во время укладки идет старение вяжущего по обоим механизмам, поскольку процесс протекает в условиях высокой температуры и притока воздуха. Для моделирования этой формы старения, в технических условиях «Суперпейв» используется метод раскатывания тонкой пленки в печи RTFO. После строительства асфальтобетонного покрытия старение продолжается, но преобладает механизм окисления вследствие относительно умеренных температур окружающей среды. Метод RTFO служит двум целям. Одна из них заключается в том, чтобы получить состарившееся битумное вяжущее, которое может быть в дальнейшем использовано для проведения испытаний физических свойств. Вторая цель состоит том, чтобы определить количество, по массе, летучих соединений, испарившихся из битума в этом процессе. Методика и испытания проводятся согласно стандарту СТ РК 1224-2003 Битумы и битумные вяжущие. Методы определения устойчивости к старению под воздействием прогрева и воздушной среды (рисунок 6).



Рисунок 6 - Вращающаяся печь (RTFO)

Длительное старение битумных вяжущих в специальном сосуде давления было выполнено по стандарту ASTM D 6521-08 [95-96], которое моделирует старение битумных вяжущих в процессе эксплуатации асфальтобетонного покрытия. Образцы битумных вяжущих, прошедшие кратковременное старение, находились в сосуде под давлением 2070 кПа и при температуре 100 °С в течение 20 часов.

### 2.2.11 Для моделирования старения под давлением PAV

Для моделирования старения в процессе эксплуатации в технических условиях «Суперпейв» используется метод старения в сосуде под давлением PAV (рисунок 7). Следует отметить, что образцы вяжущего, состаренные в PAV, уже подвергались старению по методу RTFO. Следовательно, остаток представляет собой вяжущее, которое подвергалось воздействию всех тех факторов окружающей среды, которым оно подвергается в процессе производства и эксплуатации (таблица 1).



Рисунок 7 - Аппарат PAV

Таблица 1 – Физико-механические свойства исходных битумов марки БНД 100/130 и БНД 130/200

Наименование показателей	Единица измерения	Стандарт	Норма по стандарту		Значение	
			БНД 100/130	БНД 130/200	БНД 100/130	БНД 130/200
1	2	3	4	5	6	7
Глубина проникания иглы, при температуре 25 °С 0°С, не ниже	0,1 мм	СТ РК 1226	101-130 30	131-200 40	108 36	150 41
Температура размягчения по кольцу и шару, не ниже	°С	СТ РК 1227	43	42	44,3	43,2
Растяжимость при температуре, не менее: 25 °С 0 °С	см	СТ РК 1374	90 4,0	- 6,0	128 5,6	85 9,5

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Вязкость динамическая при 60 °С, не менее	Па·с	СТ РК 1211	120	80	134	82,2
Вязкость кинематическая при 135 °С, не менее	мм <sup>2</sup> /с	СТ РК 1210	180	135	306	323
Температура вспышки, не ниже	°С	СТ РК 1804	230	220	300	280
Температура хрупкости по Фраасу, не выше	°С	СТ РК 1229	-22	-24	-25,2	-29,9
Индекс пенетрации		(прил. Б)	от – 1,0 до +1,0	от – 1,0 до +1,0	-0,78	-0,25
Растворимость, не менее	%	СТ РК 1228	99,0	99,0	99,9	99,9
Содержание парафинов, не выше	%	СТ РК 1230	2,5	2,5	0,99	1,02
Устойчивость к старению после прогрева при 163 °С - изменение массы, не более чем - глубина проникания иглы при 25 °С от исходной, не менее - растяжимость при 25 °С, не менее - изменение температуры размягчения, не более - коэффициент возрастания динамической вязкости при 60 °С, не более	%	СТ РК 1224	0,8	0,8	-0,2	0,1
		СТ РК 1552				
	см	СТ РК 1226	80	45	72	73
		СТ РК 1374				
	°С	СТ РК 1227	8	7	4,4	4,0
«-»	П. 8.2.4 настоящего стандарта	2,5	2,5	2,4	1,6	

**Выводы по 2 разделу**

1. Для проведения научно-исследовательских работ выбраны битумы марок БНД 100/130 и БНД 130/200 производства Павлодарского нефтехимического завода (ПНХЗ). Битумы были произведены из сырой нефти Западной Сибири (Россия) методом прямого окисления.

2. Выбранные битумы марки БНД 100/130 и БНД 130/200 по физико-механическим свойствам соответствуют всем требованиям стандарта СТ РК 1373.

### 3 ПОЛИМЕР БИТУМЫ

#### 3.1 Выбор полимеров для модификации битумов

Полимерасфальтобетон производят двумя способами: первый – введением гранулированных и жидких добавок в горячую асфальтобетонную смесь, второй – введением добавок в битум для приготовления модифицированного полимербитума.

Задача модификации асфальтобетона полимерами – создать асфальтобетон, обладающий широким температурным интервалом пластичности и высокой прочностью и эластичностью. Модифицирование битума полимерами расширяет диапазон температуры пластичности к деформациям. Это позволяет использовать более мягкие вяжущие для предотвращения растрескивания, старения и тем самым сдвигает границы диапазона эксплуатационных температур [91, с. 205].

Для приготовления горячих полимерасфальтобетонов в качестве битумных вяжущих применяют битумы нефтяные дорожные вязкие по СТ РК 1373, битумы модифицированные полимером (БМП) по СТ РК 2534, а также другие битумные вяжущие с улучшенными свойствами, модифицированные полимерами различной природы, по нормативной или технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Битумы были произведены Павлодарским нефтехимическим заводом из сырой нефти Западной Сибири (Россия) методом прямого окисления. Касательно выбора марки битума, согласно СТ РК 2534 [92] для производства полимербитумных вяжущих используют битум более высоких марок, так как при введении полимеров в битум марка битума понижается. Выбор битума для приготовления по полимербитумного вяжущего осуществляется согласно климатическим условиям эксплуатации согласно Р РК 218-129 [93].

Для приготовления полимербитумных вяжущих в лаборатории «КаздорНИИ» в качестве модификаторов битума выбраны следующие полимеры (рисунки 8-11).



Рисунок 8 – Elvaloy

Полимер **Elvaloy® RET 4170 (США)** повышает теплостойкость вяжущего и значительно улучшает адгезию. Введение небольшого количества полимерной добавки Elvaloy в битум придает ему эластичность и приводит к увеличению температуры размягчения битумного вяжущего. При изготовлении ПБВ не происходит расслаивания, благодаря чему возможно более длительное хранение и транспортировка битума.



Рисунок 9 - Kraton D

**Kraton D (США)** - чистый линейный блок-сополимер на основе стирола и бутадиена с содержанием стирола 31% масс. Kraton D обладает отличной адгезией и высокой устойчивостью к резким перепадам температуры (с переходом через 0°C). Полимер Kraton D применяется как модификатор битума.



Рисунок 10 - Calprene® 501

**Calprene 501 (Испания)**, выпускаемый компанией Dynasol, представляет собой пористую крошку из термопластичного сополимера бутадиена и стирола 69/31. Полимеризуется в растворе и имеет линейную структуру. Нерастворим в воде, растворим в органических растворителях.



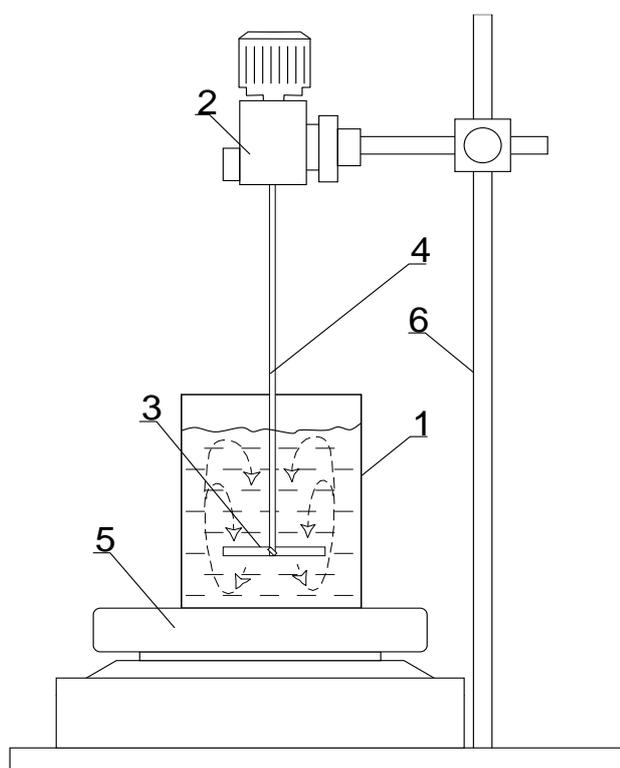
Рисунок 11 – BUTONAL NS 198

**BUTONAL NS 198** (Германия) - полимерный модификатор на основе стирол-бутадиеновой дисперсии, применяемый для улучшения свойств битума, битумных эмульсий и асфальтобетона. BUTONAL NS 198 может вводиться как в битум с приготовлением ПБВ, так и напрямую в смеситель с помощью дозирующего насоса.

### 3.2 Технология приготовления полимербитумов

Для приготовления битума с пенетрацией 130/200 при температуре 25 °С использовался битум марки БНД 100/130 с пенетрацией 110 мм и 16 % гудрон ПНХЗ путем подбора. При разжижении в открытой системе, температура битума, поступающего на смешение с разжижителем, составляла не более 120 °С.

Для модификации битума в лабораторных условиях использовалась лабораторная мешалка, создающая небольшую воронку, и контейнер с подогревом. На рисунке 10 показана схема такого оборудования. Перемешивание проводилось круговым движением винта. Битум марки БНД 100/130 ПНХЗ разжиженного (гудроном) до пенетрации П=175 проводилось путем разогрева битума до температуры 120 °С, с добавлением гудрона, доведенный до подвижного состояния (температура 40-50 °С) и перемешивали в течение 30-40 минут мешалкой при температуре 120±5 °С (рисунок 12).



1 – металлическая емкость; 2 – электродвигатель с регулируемой частотой вращения; 3 – винт; 4 – шкив; 5 – нагревательная плитка; 6 – штатив

Рисунок 12 – Лабораторная мешалка с подогревом

### 3.2.1 Приготовления полимербитума с полимером Kraton D

В битум марки БНД 100/130, а также в битум марки БНД 130/200 (ПНХЗ) разжиженного (гудроном) до пенетрации  $P=175$ , разогретый до температуры  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  медленно вводили модификатор Kraton D в количестве 4 % от массы битума, затем температуру довели до  $170 - 175\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выдерживали при заданной температуре 5 часов перемешивая.

### 3.2.2 Приготовления полимербитума с полимером Elvaloy 4170

В битум марки БНД 100/130, а также в битум марки БНД 130/200 (ПНХЗ) разжиженного (гудроном) до пенетрации  $P=175$  разогретый до температуры  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  медленно вводили полимер Elvaloy 4170 в количестве 1,4 % от массы битума, затем температуру довели до  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выдерживали 3 часа перемешивая. После этого битум поместили в термощкаф при температуре  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 12 часов при заданной температуре.

### 3.2.3 Приготовления полимербитума с полимером Calprene 501

В битум марки БНД 100/130, а также в битум марки БНД 130/200 (ПНХЗ) разжиженного (гудроном) до пенетрации  $P=175$  разогретый до температуры  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  медленно добавлялся модификатор Calprene 501 в количестве 4,5 % от массы битума, затем температуру довели до  $170 - 175\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выдерживали 3 часа.

#### 3.2.4 Приготовление полимербитума с полимером Butonal NS 198

В битум марки БНД 100/130, а также в битум марки БНД 130/200 (ПНХЗ) разжиженного (гудроном) до пенетрации  $P=175$  разогретый до температуры 140-170 °С, медленно вводили полимер Butonal NS 198 в количестве 3,0 % от массы битума, затем температуру довели до 170-190 °С и выдерживали 1,5-2 часа перемешивая.

### 3.3 Стандартные показатели полимербитумов

В условиях резкоконтинентального климата для повышения эксплуатационной надежности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог необходимо улучшить высоко- и низкотемпературные характеристики дорожных битумов. В настоящее время в мире в дорожном строительстве принято, что одним из широко применяемых способов повышения эксплуатационных характеристик дорожных битумов является модификация их разными полимерами [90].

Стандартные физико-механические показатели полимербитумных вяжущих определены в соответствии с требованиями стандартов СТ РК 1373, СТ РК 2534. Данные по результатам испытаний приведены в таблице 2.

Определены и проанализированы следующие основные стандартные показатели: глубина проникания иглы при 25 °С, температура размягчения, растяжимость при 25 °С, температура хрупкости по Фраасу, эластичность при 25 °С, температура вспышки, устойчивость к старению после прогрева при температуре 163 °С (с определением изменении массы и температуры размягчения).

Установлено, что при добавлении в битум полимеры понижается глубина проникания иглы, повышается температура размягчения, тем самым изменяется марка битумного вяжущего. Большинство полимеров повышают температуру хрупкости, то есть понижают низкотемпературную устойчивость.

Таблица 2 - Стандартные физико-механические показатели полимербитумных вяжущих

Битум, полимер (содержание полимера)	Глубина проникан ия иглы при 25 °С, 0,1мм	Температура размягчения по кольцу и шару, °С	Растяжи мость при 25 °С, см	Температура хрупкости по Фраасу, °С	Эластич ность при 25 °С, %	Температура вспышки, °С	Устойчивость к старению после прогрева при температуре 163 °С	
							изменение массы, %	изменение температуры размягчения, °С
Битум марки БНД 100/130 + Elvaloy 4170 (1,4 %)	86	63,5	38,3	-29,1	72	286	0,51	3,0
Битум марки БНД 100/130 + Calprene 501 (4,0 %)	58	73	42,5	-23,7	84	280	0,42	4,0
Битум марки БНД 100/130 + Butonal NS 198 (3,0 %)	83	58	51	-27,4	71	280	0,53	3,0
Битум марки БНД 100/130 + Kraton (4,0 %)	60	76	43,5	-30,3	87	280	0,40	4,0
Битум марки БНД 130/200 +Elvaloy 4170 (1,8 %)	105	60,5	48	-24,1	75	282	0,50	3,2
Битум марки БНД 130/200 +Calprene 501 (6,0 %)	63	79	55	-27,5	88	285	0,40	4,5
Битум марки БНД 130/200 +Butonal NS 198 (3,5 %)	110	61,5	150	-32,1	85	280	0,30	3,5
Битум марки БНД 130/200 +Kraton (6,0 %)	74	75,5	45	-24,7	83	280	0,30	3,0

### 3.3.1 Глубина проникания иглы при 25 °С (пенетрация)

На рисунке 13 представлены значения пенетрации испытанных чистых и модифицированных битумов при температуре 25 °С. Видно, что модификация полимерами существенно понижает пенетрацию битумов. Так как по показателю пенетрации определяется марка битума, можно считать, что модификация битумов полимерами изменяет их марку. Установлено, что после модификации ни один битум не имеет начальную марку: 5 из них переходят в следующую марку, еще 3 становятся более вязкими на две марки, а одна из них показывают пенетрацию ниже на 3 марки.

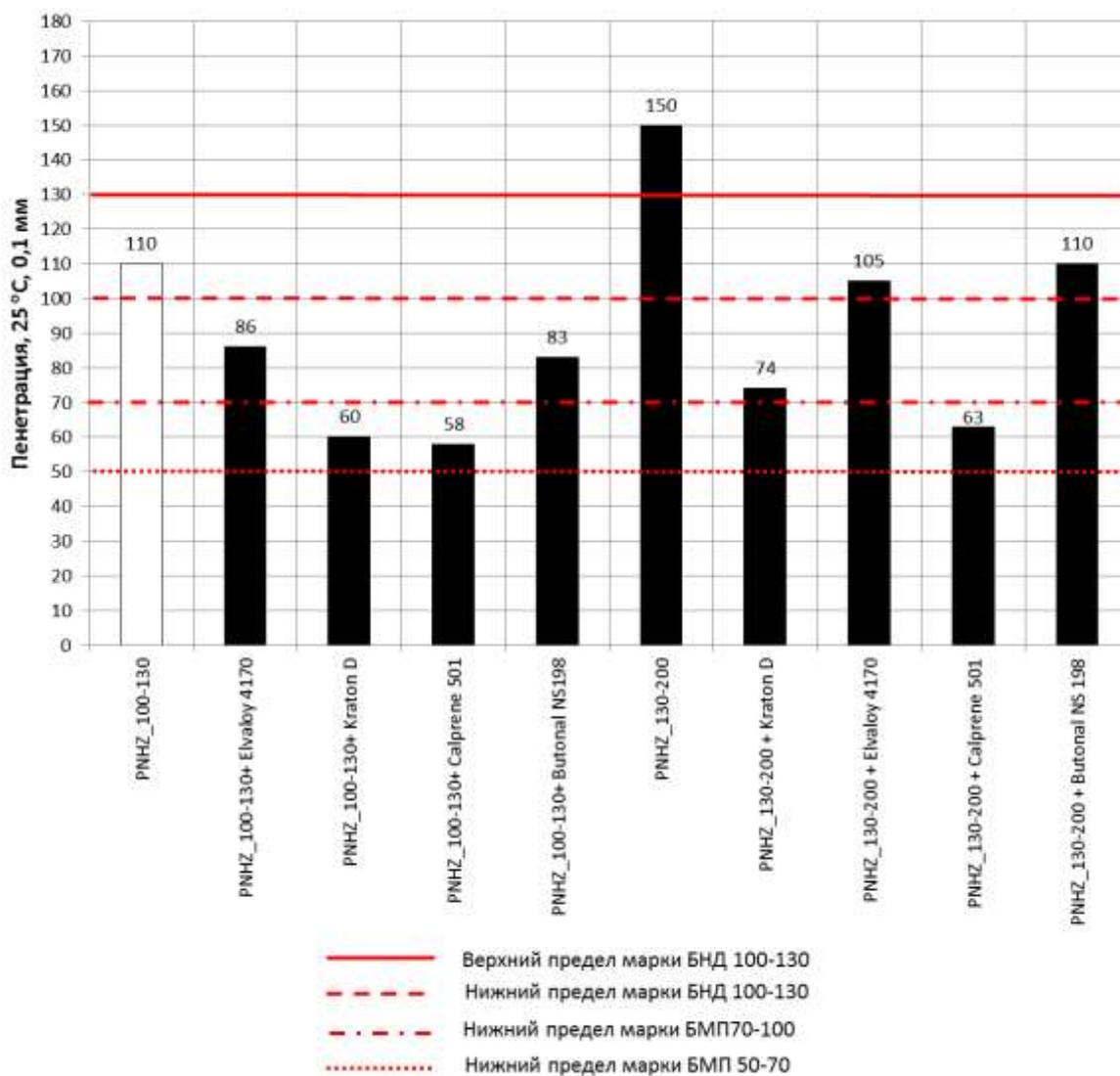


Рисунок 13 - Пенетрация битумов при температуре 25 °С

### 3.3.2 Температура размягчения

Как следовало ожидать, модификация полимерами повышает температуру размягчения битумов (рисунок 14). Большинство полимеров повышают температуру размягчения в среднем на 18-20 °С, а некоторые из них – почти в два раза. Так как температура размягчения косвенно характеризует

устойчивость битумов к высоким температурам, полученные результаты показывают возможность существенного повышения высокотемпературных характеристик дорожных битумов путем модификации их различными полимерами. Это дает основание считать, что асфальтобетоны, приготовленные с использованием полимербитумов, могут быть рекомендованы для применения в жарких климатических условиях.

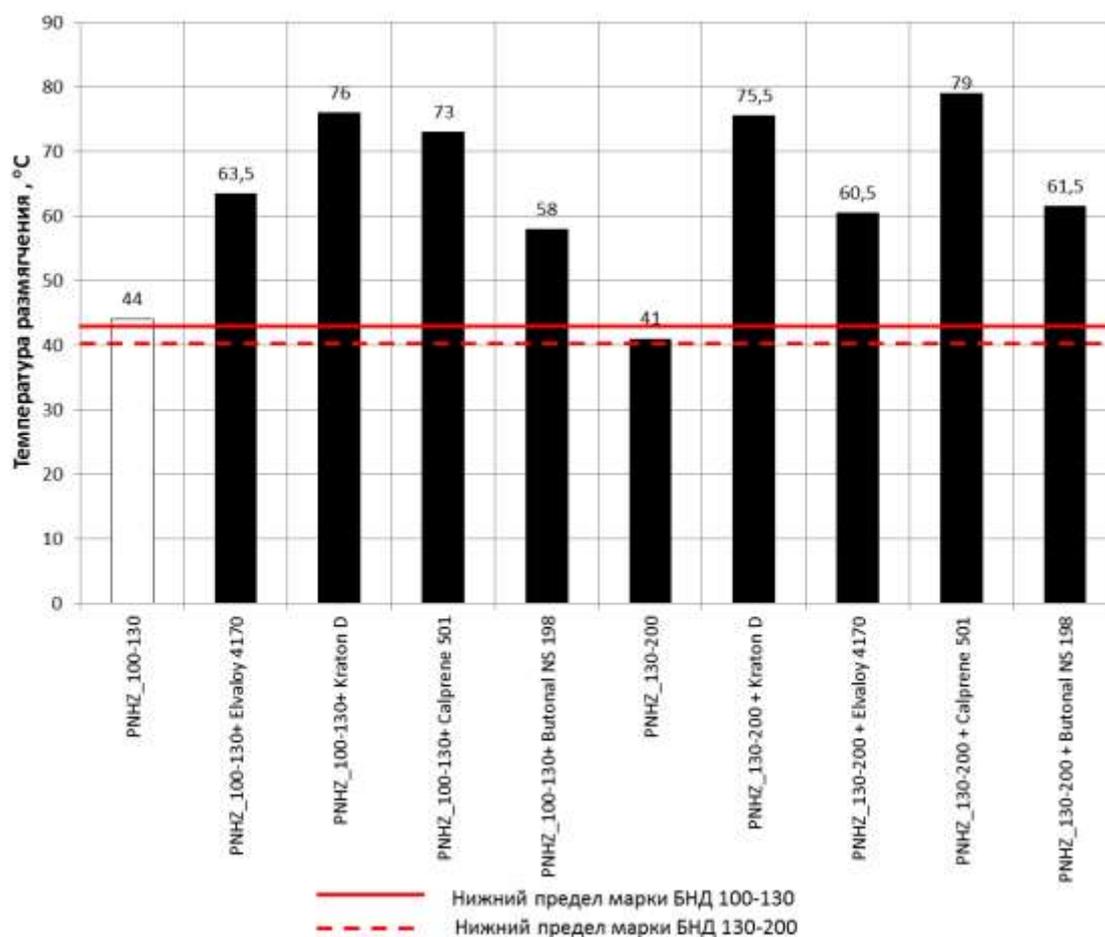


Рисунок 14 - Температура размягчения битумов

### 3.3.3 Температура хрупкости

В настоящее время по температуре хрупкости оценивают устойчивость битумов к низким температурам. Естественно считать, битум с низкой температурой хрупкости более приемлем (предпочтителен) в регионах с холодным климатом. Результаты испытаний показали (рисунок 15), что полимеры Elvaloy 4170, Calprene 501, Butonal NS 198 в битуме марки БНД 100/130 повышают температуру хрупкости (ухудшают низкотемпературную устойчивость) битумов. Полимерная добавка Kraton D в битуме марки БНД 100/130 практически не изменил температуру хрупкости. Понижение температуры хрупкости было достигнуто только в двух случаях – при добавке полимеров Elvaloy 4170 (на 3,9 °C) и Butonal NS 198 (на 1,9 °C) в битум марки БНД 130/200. Эти результаты показывают, что для понижения температуры

хрупкости битумов при их модификации полимерами необходимо учитывать как вязкость (марку) битума, так и вид полимера.

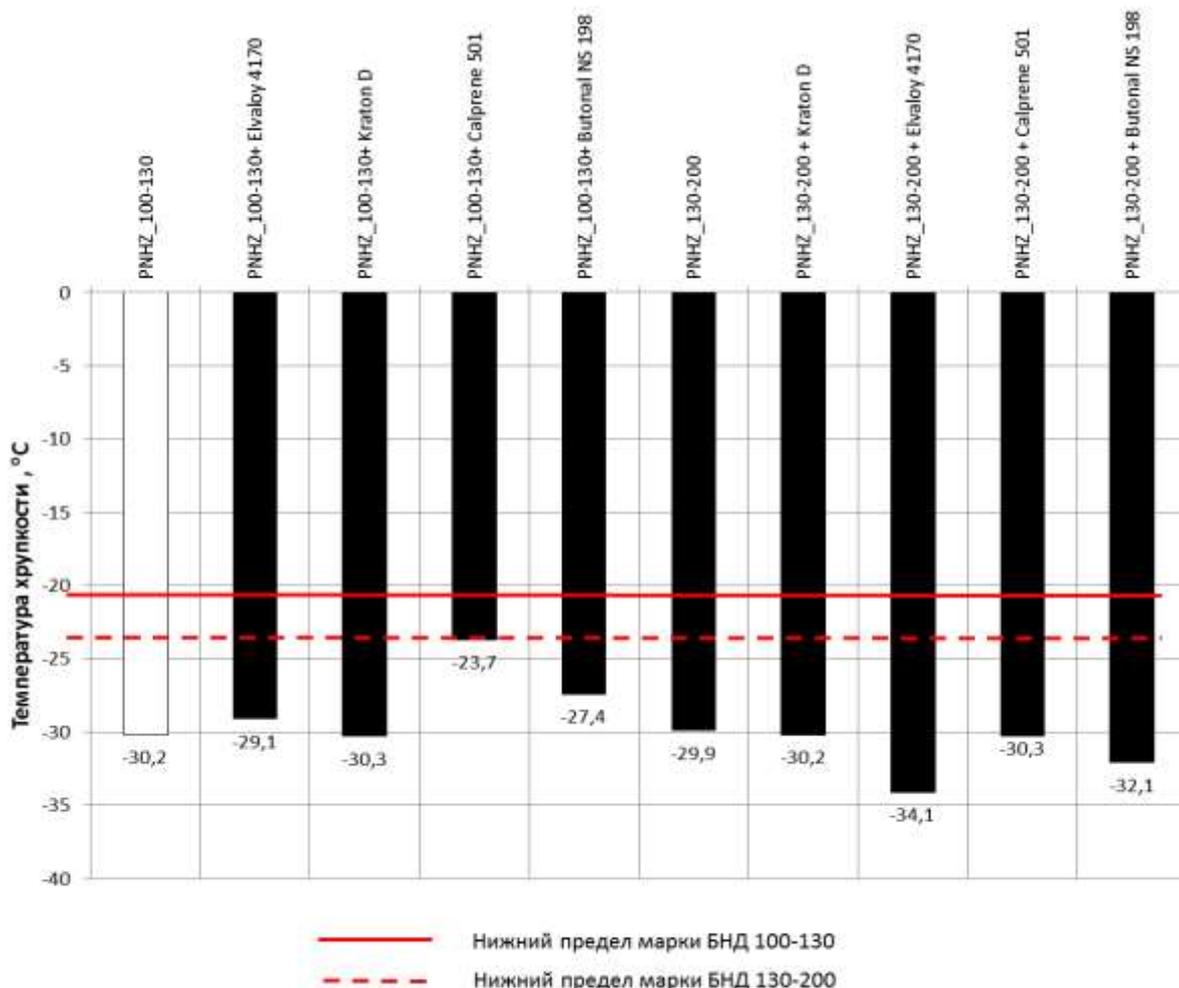


Рисунок 15 - Температура хрупкости битумов

### 3.3.4 Растяжимость

Большинство полимеров уменьшают растяжимость битумов, что хорошо видно на рисунке 16. Так, при модификации битума марки БНД 100/130 растяжимость уменьшилось на 60-70 %. В случае модификации битума марки БНД 130/200 растяжимость уменьшилось на 35-47 %, только с полимером Butonal NS 198 повышается растяжимость на 43%.

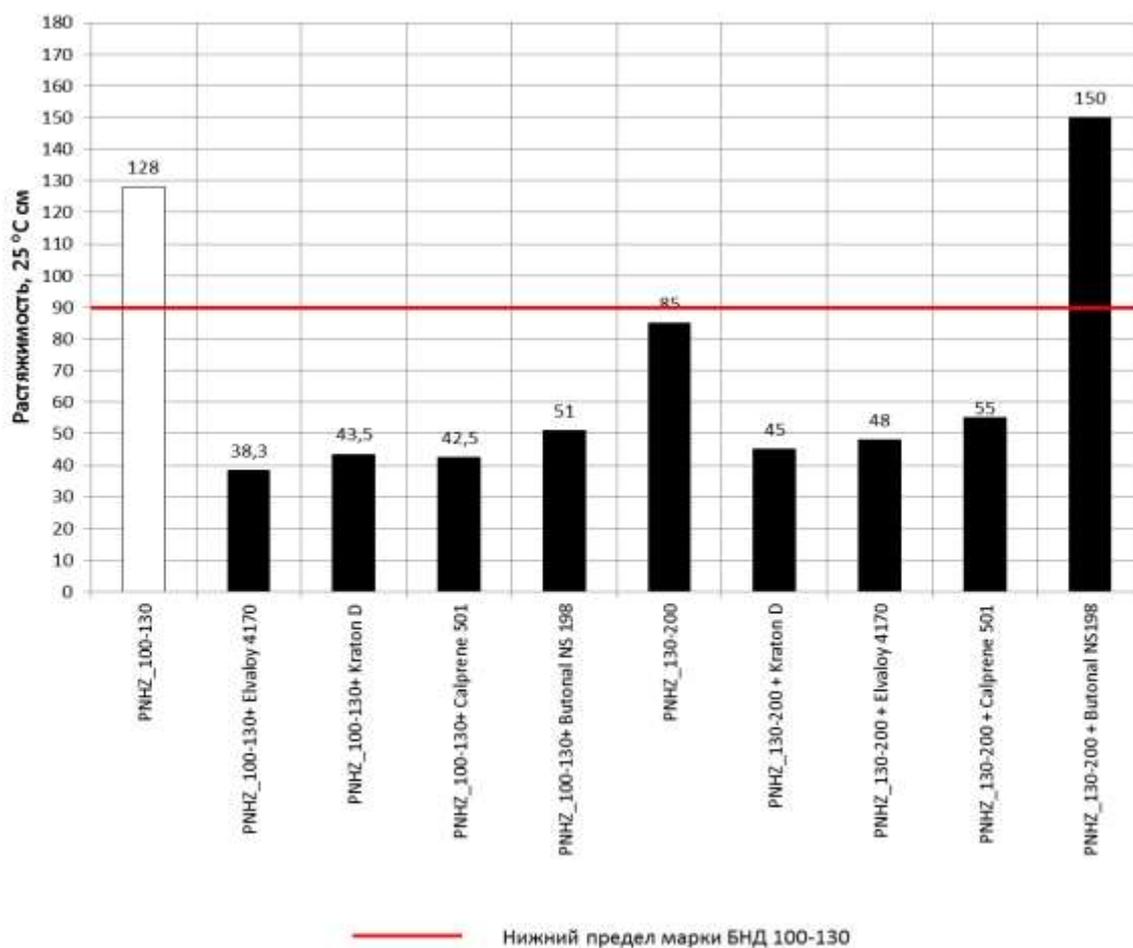


Рисунок 16 - Растяжимость битумов при температуре 25 °C

### Выводы по 3 разделу

Анализ результатов определения основных стандартных показателей битумов марок БНД 100/130 и БНД 130/200 и модифицированных полимерами, выполненный в настоящей работе, показал следующее:

1. При добавлении в битумы полимеры понижается пенетрация, тем самым изменяют марку битума. Установлено, что после модификации 5 полимербитумов переходят в следующую марку, 3 изменяют марку на 2 единицы, из них 1 имеют марку более вязкую на 3 единицы;

2. Все рассмотренные полимеры повышают температуру размягчения, тем самым улучшают высокотемпературную устойчивость битумов;

3. Большинство полимеров повышают температуру хрупкости (понижают низкотемпературную устойчивость). В двух случаях из десяти модификация практически не изменяет температуру хрупкости. Только в двух случаях модификации битума марки БНД 130/200 получен положительный эффект – понижение температуры хрупкости;

4. Только в одном случае (43%) модификации отмечено повышение растяжимости битумов. В остальных случаях растяжимость уменьшается.

## 4 АСФАЛЬТОБЕТОНЫ И ПОЛИМЕРАСФАЛЬТОБЕТОНЫ

### 4.1 Приготовление асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов

Согласно имеющимся подборам в лаборатории «КаздорНИИ» для приготовления горячих асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесей типа Б, по гранулометрическому составу рекомендовано и определено следующее количество битумного вяжущего и подобраны следующие составы асфальтобетона.

**Состав плотной мелкозернистой асфальтобетонной и полимерасфальтобетонной смеси типа Б:**

- щебень из гравия фр.15-20 мм	- 10 %;
фр.10-15 мм	- 14%;
фр. 5-10 мм	- 20 %;
- отсев дробления щебня из гравия	- 49 %;
- активированный минеральный порошок	- 7 %;
- битум марки БНД 100/130 и 130/200	- 4,8 %.

Асфальтобетонная смесь была приготовлена в лабораторном лопастном смесителе (рисунок 17). Открывание и закрывание смесителя происходило автоматически с помощью установленного электродвигателя. Смотровое окно позволяло наблюдать за процессом перемешивания материалов. Смесительный барабан имеет постоянную скорость вращения и принцип синхронизированного перемешивания. Пять нагревательных элементов, установленных под дном за стенками смесительного барабана обеспечивали требуемую постоянную температуру.



Рисунок 17 - Лабораторный лопастной смеситель объемом 30 литров

Приготовление асфальтобетонных смесей производилось путем взвешивания расчетного количества исходных материалов согласно подбору, с предварительным нагревом каменных материалов в сушильном шкафу до требуемой температуры (160-180 °С), с перемешиванием в лабораторной лопастной мешалке, введения минерального порошка и битумного вяжущего

(битума или полимерно-битумного вяжущего) и дополнительное перемешивание. Температура готовой асфальтобетонной смеси составляла на выходе 160-175°C.

Перемешивание осуществлялось до достижения визуальной однородности.

#### **4.2 Стандартные показатели асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов**

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов определены путем испытания образцов согласно требованиям СТ РК 1225, по методикам испытаний СТ РК 1218.

Результаты испытаний физико-механических свойств горячих асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов приведены в таблице-3.

Для оценки качества асфальтобетонов и предсказания их долговечности используют множество показателей. При определении физико-механических показателей асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов проанализированы следующие основные стандартные показатели: средняя плотность, водонасыщение, пределы прочности при различных температурах, сдвигоустойчивость и трещиностойкость.

Уплотнение асфальтобетонных смесей является максимально полное сближение зерен минерального состава между собой до достижения теоретически обоснованного предела плотности асфальтобетона. В процессе приготовления после перемешивания асфальтобетонная смесь представляет собой рыхлую массу. Уложенная в слой покрытия без предварительного уплотнения, она имеет среднюю плотность, близкую 1800 кг/м<sup>3</sup>. В уплотненном состоянии *средняя плотность* асфальтобетона достигает значения, близкого к 2400 кг/м<sup>3</sup>. Главным фактором уплотнения является уплотняющее давление и температура асфальтобетонной смеси. В лабораторных условиях уплотняющее давление и температуру уплотнения выбирают в зависимости от марки, состава и вида асфальтобетона согласно СТ РК 1218 [93]. Среднюю плотность асфальтобетона определяют в лаборатории гидростатическим взвешиванием.

А *водонасыщение* для асфальтобетона зависит от его пористости. Показатель водонасыщения асфальтобетона характеризует его способность к заполнению влагой всех пустот (пор, трещин), содержащихся в образце асфальтобетона. Чем выше этот показатель, тем большее количество воды может поглотить заданный объём (образец) асфальтобетона. Величина увеличивается в случае недостаточного уплотнения. Показатель будет нормальным, если в точности следовать технологии производства работ по уплотнению асфальтобетона.

От величины водонасыщения напрямую зависит качество, а значит, и срок службы дорожного покрытия. При высоком водонасыщении асфальтобетон оказывается переувлажнён, в результате чего в холодный период года при многократном замораживании и оттаивании происходит разрушение материала.

Согласно стандарту методика определения водонасыщения заключается в определении количества воды, поглощенной испытываемым образцом при

заданном режиме насыщения. Асфальтобетон в дорожном покрытии подвергается действию механических, статических и динамических нагрузок, вызывающих возникновение в асфальтобетоне сжимающих и растягивающих напряжений при высоких летних и низких зимних отрицательных температурах, переменному увлажнению - высыханию и замораживанию – оттаиванию.

Чтобы оценить механические свойства асфальтобетонных покрытий в разных условиях определяют предел прочности при сжатии при температурах 0, 20 и 50 °С. Так, на пример, при испытании асфальтобетона на прочность при 0 °С, определяют максимальную выдержанную нагрузку при отрицательных температурах, а при 50 °С при положительных высоких температурах. При оценке прочности асфальтобетона при 20 °С, определяется механическая прочность при средних температурах. Определение прочности при сжатии при различных условиях испытания позволят подобрать оптимальный состав по прочности при проектировании асфальтобетона. Пределы прочности при сжатии определяются на лабораторных прессах при одноосном сжатии в определенных условиях, при котором происходит разрушение образца с фиксацией максимального значения.

Одним из методов лабораторных испытаний влияния тепловой нагрузки на сдвиговые характеристики асфальтобетона является определение *сдвигоустойчивости*.

В результате нагрева асфальтобетонного покрытия в жаркий период до 55 °С и выше, приводят битумное вяжущее в составе асфальтобетона из твердого в вязкопластичное состояние. В следствии неправильного подбора состава асфальтобетонной смеси, при высоких температурах на покрытии формируется необратимые пластические деформации в виде продольных колеи по полосе наката автомобильных колес, поперечные волны на участках торможения в виде пластических деформации и т.д.

Определение сдвигоустойчивости асфальтобетона поможет спрогнозировать и подобрать оптимальный состав асфальтобетонной смеси, выдерживающие максимальные нагрузки и деформаций.

Сдвигоустойчивость определяется на стандартных цилиндрических образцах при двух напряженно-деформированных состояниях, по коэффициенту внутреннего трения и по сцеплению при сдвиге при одноосном сжатии и сжатии по методу Маршалла. При низких температурах, достигающих в наиболее холодные зимы минус 30 °С и ниже, на покрытии возникают регулярные поперечные трещины, причиной которых являются растягивающие напряжение, вызванные температурным сжатием асфальтобетона.

Определение прочности асфальтобетона на растяжение при расколе является главным фактором его сопротивления образованию трещин. Чем больше эта прочность, тем выше *трещиностойкость* асфальтобетона.

Трещиностойкость - это сопротивляемость асфальтобетона образованию трещин, определяется по показателю максимальной нагрузки, необходимой для раскалывания образца по образующей (таблица 3).

Таблица 3 - Стандартные показатели физико-механических свойств асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов

Сокращенное обозначение мелкозернистого плотного асфальтобетона и полимерасфальтобетона	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Остаточная пористость, %	Водонасыщение, %	Прочности при сжатии при температуре °С, МПа			Сдвигоустойчивость при температуре 50 °С		Трещиностойкость при 0 °С, МПа
				50	20	0	коэффициент внутреннего трения	сцепление при сдвиге, МПа	
тип Б на битуме марки БНД 100/130	2,40	3,8	3,4	1,38	3,5	7,4	0,92	0,39	4,5
тип Б на битуме марки БНД 130/200	2,40	3,0	3,3	1,35	2,9	6,7	0,95	0,38	4,9
тип Б на битуме марки БНД 100/130 + Calprene 501 (4,0 %)	2,41	3,2	2,2	2,6	3,6	6,8	0,97	0,49	4,8
тип Б на битуме марки БНД 100/130 + Butonal NS 198 (3,0 %)	2,41	3,7	2,6	2,2	3,4	7,7	0,94	0,47	4,3
тип Б на битуме марки БНД 100/130 + Elvaloy 4170 (1,4 %)	2,40	3,4	2,5	2,4	3,7	7,3	0,96	0,53	4,5
тип Б на битуме марки БНД 100/130 + Kraton D (4,0 %)	2,40	3,3	2,4	2,6	3,4	6,8	0,99	0,46	4,4
тип Б на битуме марки БНД 130/200 + Elvaloy 4170 (1,8 %)	2,40	3,4	2,0	2,0	3,2	6,5	0,89	0,48	4,5
тип Б на битуме марки БНД 130/200 + Calprene 501-6,0 %	2,41	3,2	1,8	2,2	3,3	5,8	0,92	0,47	4,7
тип Б на битуме марки БНД 130/200 + Butonal 3,5%	2,40	3,6	2,0	2,5	3,1	5,4	0,95	0,51	5,2
тип Б на битуме марки БНД 130/200 + Kraton D(6,0 %)	2,41	3,3	2,4	2,6	3,6	6,8	0,99	0,46	4,4

#### 4.2.1 Плотность

Таким образом, по анализу полученных результатов испытаний установлено, что средняя плотность уплотнённых асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов практически не меняется.

#### 4.2.2 Остаточная пористость

Остаточная пористость полимерасфальтобетонов на битуме марки БНД 100/130 во всех случаях добавления полимеров уменьшается.

#### 4.2.3 Водонасыщение

Согласно анализу результатов водонасыщения асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов на рисунке 18 видно, что водонасыщения полимерасфальтобетонов на битуме марки БНД 100/130 снижается с полимером Butonal NS 198 на 08%, с полимером Calpren 501 на 1,2 %, с полимером Elvaloy 4170 на 0,9% и с полимером Kraton D на 1,0 %. А водонасыщения полимерасфальтобетонов на марки битума БНД 130/200 снижается с полимером Butonal NS 198 на 1,3%, с полимером Calpren 501 на 1,5 %, с полимером Elvaloy 4170 на 1,3% и с полимером Kraton D на 0,9 %.

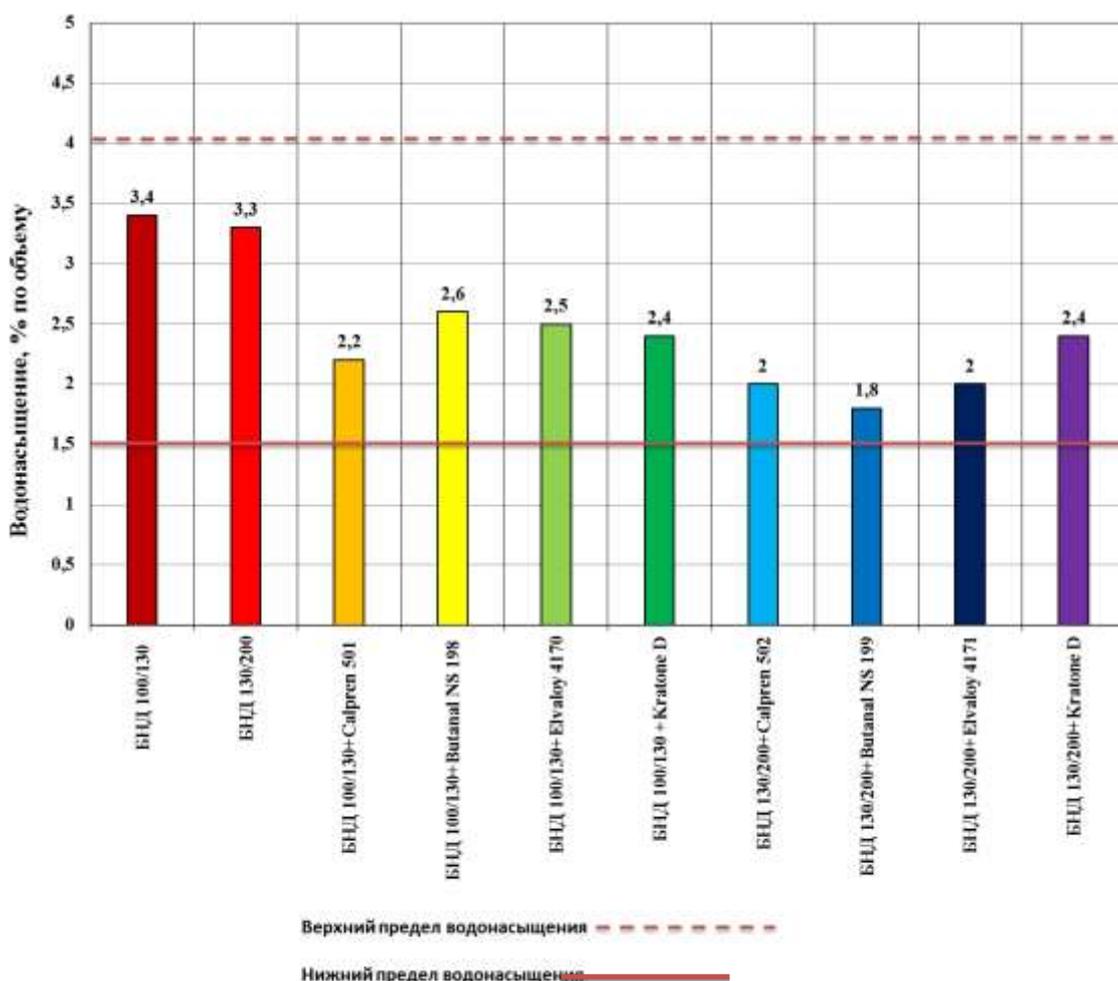


Рисунок 18 - Водонасыщение асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов

#### 4.2.4 Прочности при сжатии при температуре 50°C

Анализируя полученные результаты испытания на прочность асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов при 50°C на рисунке 17 хорошо иллюстрировано что, прочность полимерасфальтобетонов увеличивается в разы. Прочность полимерасфальтобетона с битумом марки БНД 100/130 с полимерам Calprene 501 максимально составила 2,6 МПа, с полимером Elvaloy 4170 2,4 МПа и с полимерам Butanal NS 198 в обоих случаях прочность составила 2,2 Мпа. Максимальную прочность при сжатии при температуре 50 °С на марках битума БНД 100/130 и 130/200 показал полимер Kraton D 2,6 Мпа.

Минимальную прочность показал полимерасфальтобетон с битумом марки БНД 130/200 с полимером Calprene 501 2,0 Мпа (рисунок 19).

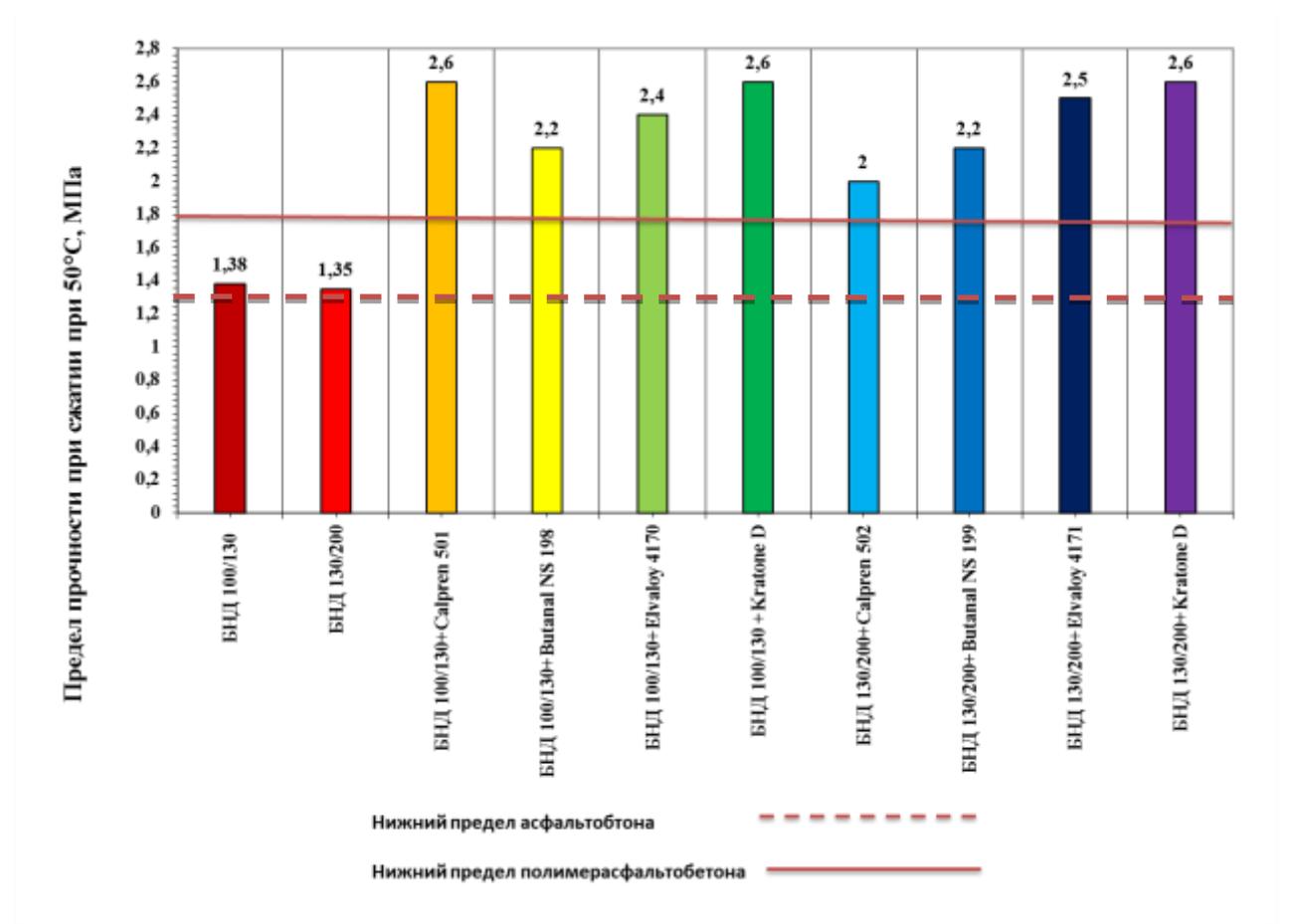


Рисунок 19 - Прочность при сжатии асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов при температуре 50°C

#### 4.2.5 Прочности при сжатии при температуре 20°C

Анализируя полученные результаты испытания на прочность асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов при 20°C, видим, что после применения полимеров прочность полимерасфальтобетонов повышается. Это хорошо видно на рисунке 20. Хотя прочность полимер асфальтобетона не нормируется стандартом.

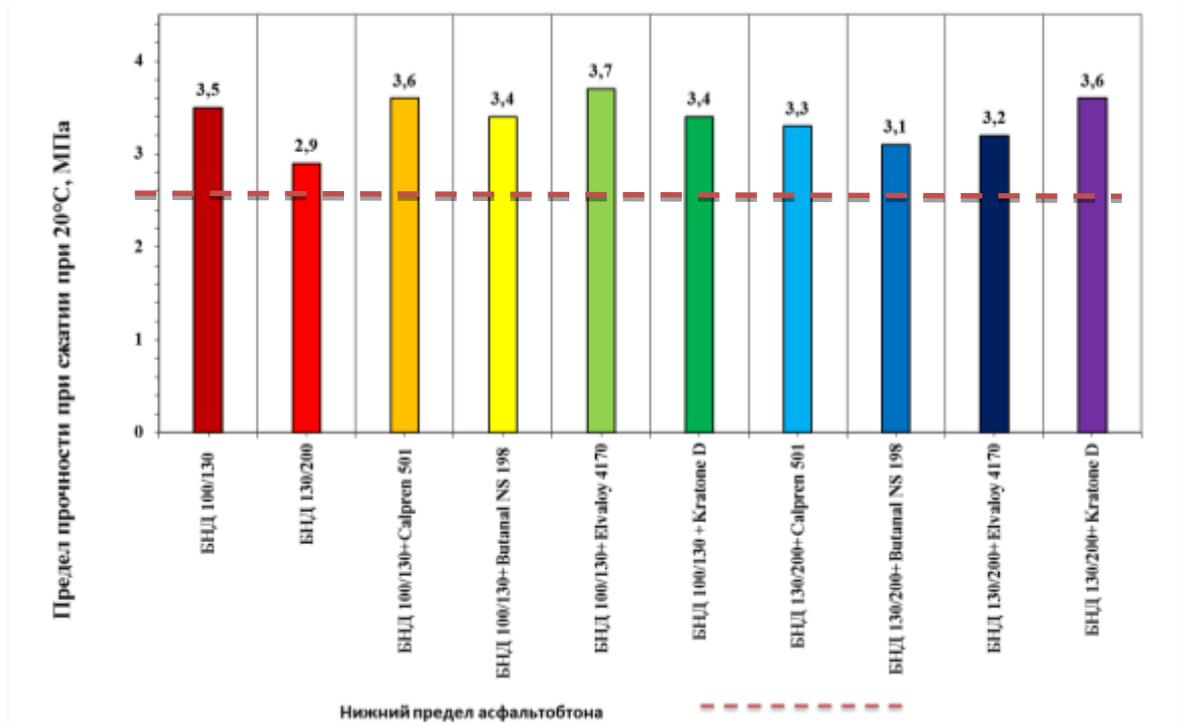


Рисунок 20 - Прочности асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов при сжатии при температуре 20°C

#### 4.2.6 Прочности при сжатии при температуре 0°C

Согласно полученным результатам испытаний асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов по определению прочности при сжатии при температуре 0°C построен график (рисунок 21).

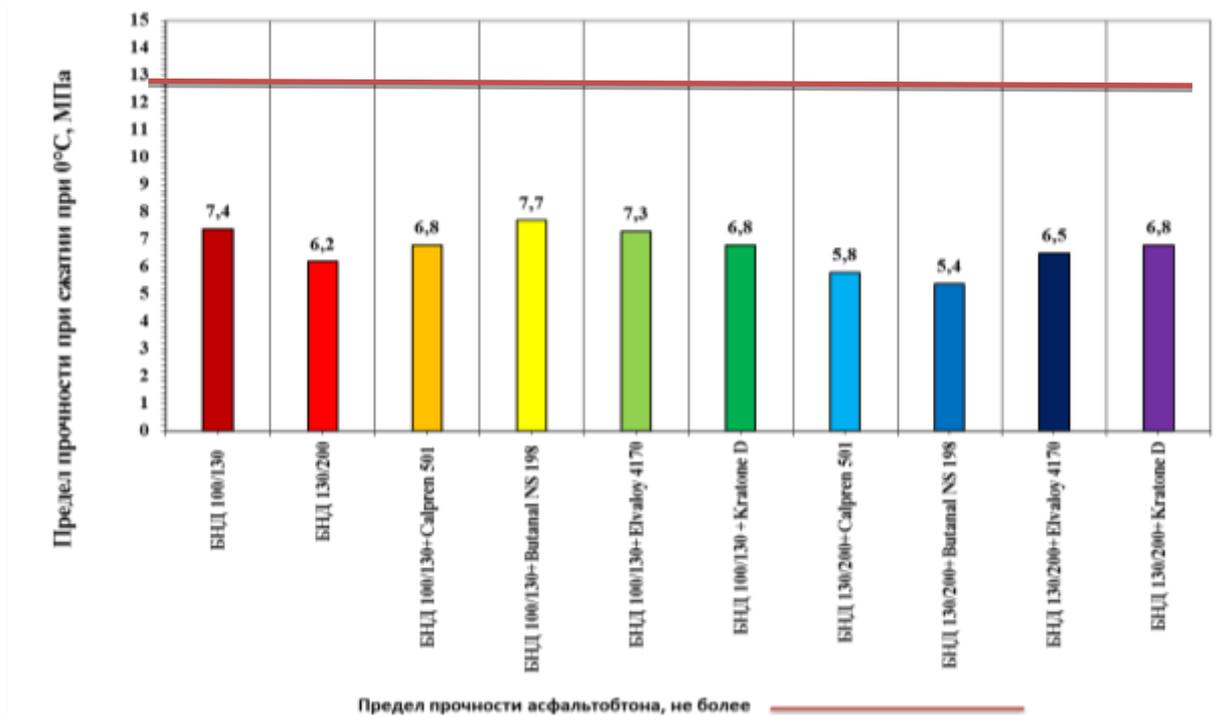


Рисунок 21 - Прочности асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов при сжатии при температуре 0°C

Согласно графику максимальную прочность показал полимерасфальтобетон с битумом марки БНД 100/130 и полимер Butonal NS 198 (7,7 МПа), одинаковый результат с обеими битумами показал полимерасфальтобетон с полимера Kraton D (6,8 МПа), минимальную прочность на битуме марки БНД 130/200 показал полимерасфальтобетон с полимерам Butonal NS 198 (5,4МПа) ниже чем исходный асфальтобетон без полимера.

#### 4.2.7 Сдвигоустойчивость при температуре 50 °С

Для оценки свигоустойчивости при температуре 50 °С определены предельные деформаций стандартных цилиндрических образцов при двух напряженно-деформированных состояниях: по коэффициенту внутреннего трения и по сцеплению при сдвиге при одноосном сжатии и сжатии по схеме Маршалла. По полученным результатам испытаний построен сводный график (рисунок 22). Как видно сдвигоустойчивость асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов соответствует требованиям стандартов. Однако, по коэффициенту внутреннего трения минимальны показатель у полимера Elvaloy 4170 (0,89) на битуме марки БНД 130/200 и максимальный показатель у полимера Kraton D (0,99) на обеих марках битума.

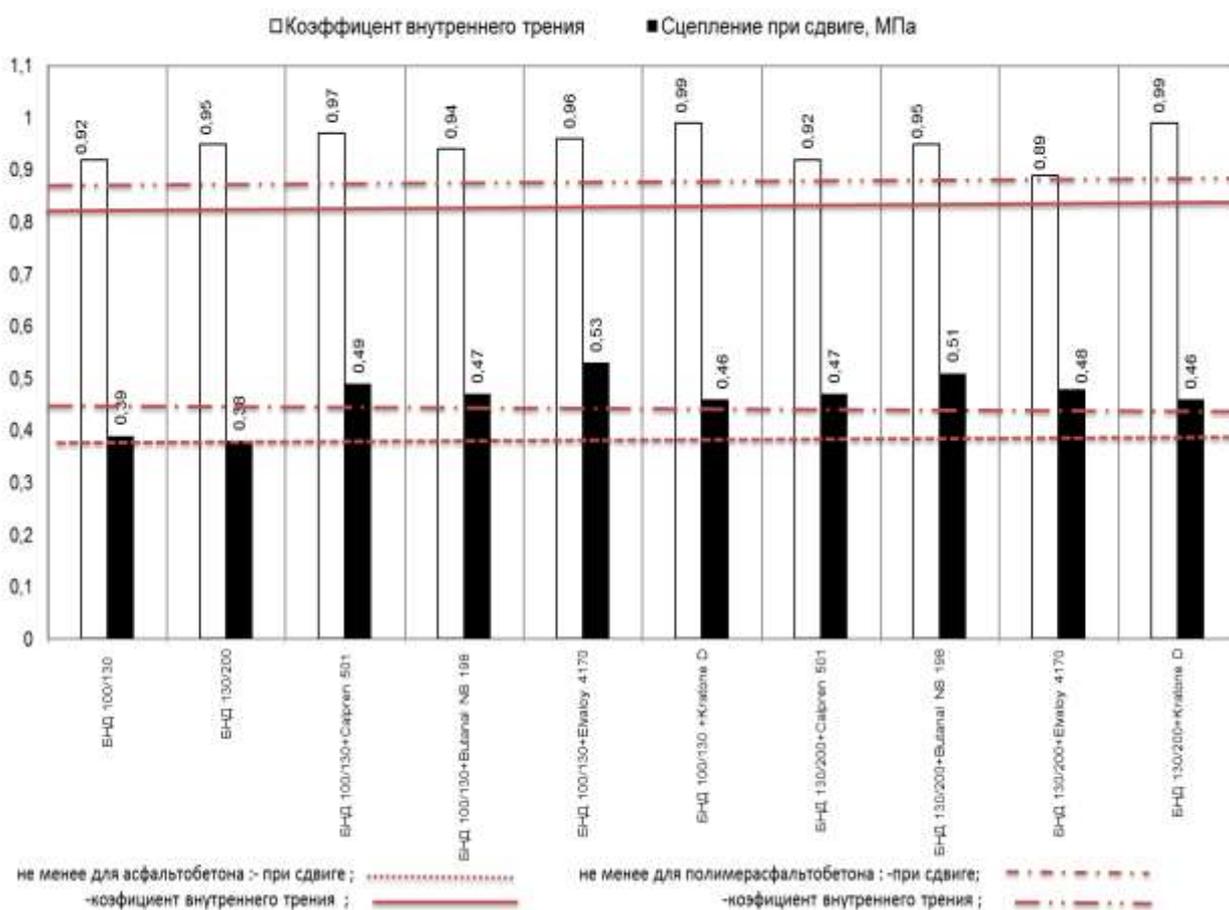


Рисунок 22 - Сдвигоустойчивость асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов при температуре 50 °С

По показателю сцепления при сдвиге максимальное значение получено у полимера Elvaloy 4170 (0,53 МПа), а минимальное у полимера Kraton D (0,46 МПа) на обеих марках битума.

#### 4.2.8 Определение трещиностойкости по пределу прочности при расколе при 0 °С

Прочность асфальтобетона на растяжение является главным фактором его сопротивления образованию трещин. Чем больше эта прочность, тем выше трещиностойкость материала. По полученным результатам испытания по определению трещиностойкости по пределу прочности при расколе при температуре 0 °С асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов построен сводный график (рисунок 23).

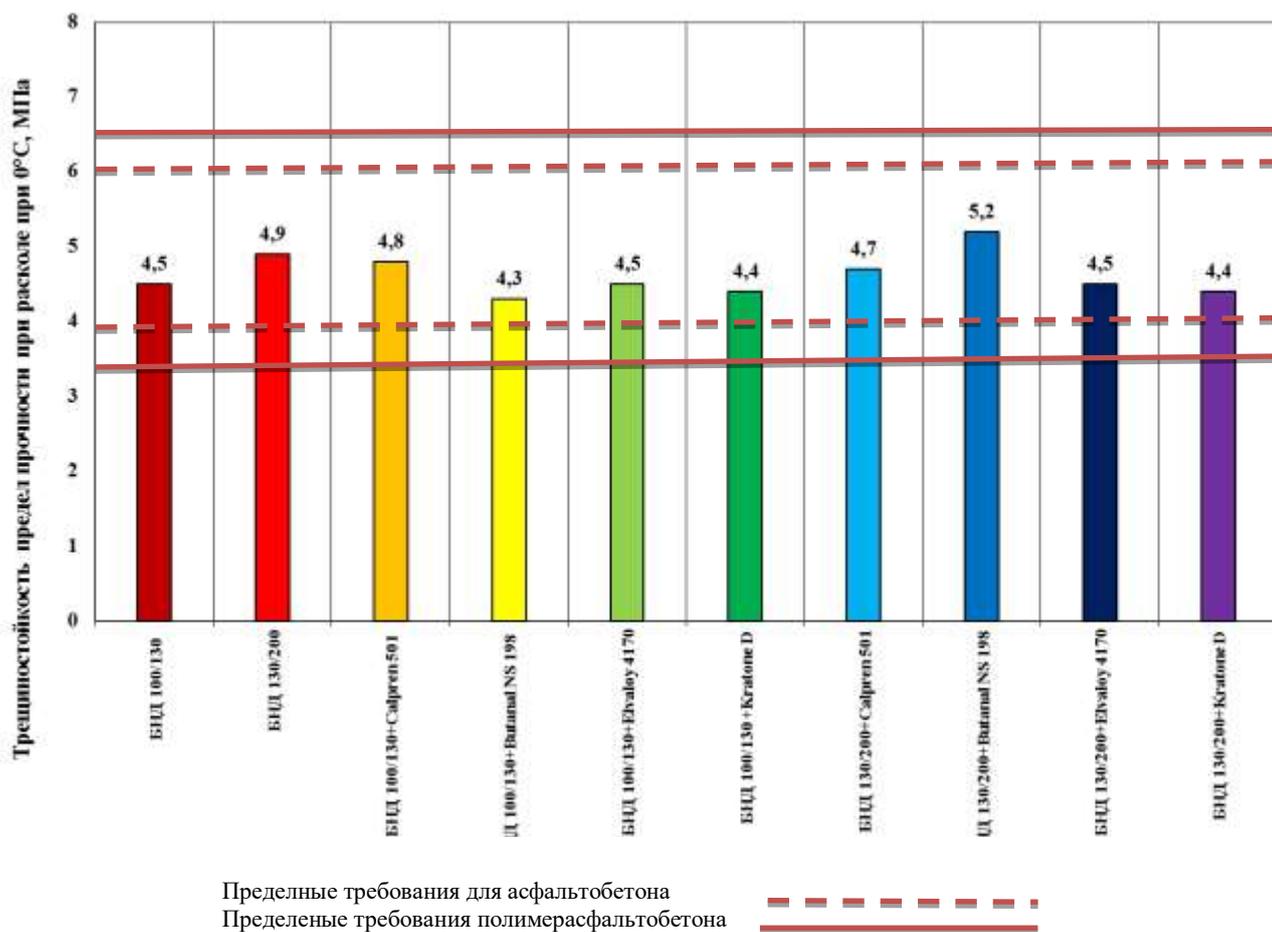


Рисунок 23 - Трещиностойкость асфальтобетона и полимерасфальтобетона по пределу прочности при расколе при 0 °С

Согласно графику все асфальтобетоны соответствуют требованиям стандарта. Максимальную и минимальную прочность при расколе показал полимер Butonal NS 198 (5,2 МПа) на битуме марки БНД 130/200 и (4,3 МПа) на битуме марки БНД 100/130.

#### **Выводы по 4 разделу**

1. Водонасыщение полимерасфальтобетонов существенно ниже, чем у асфальтобетонов, что показывает повышенную водоустойчивость полимерасфальтобетонов.

2. Модификация полимерами значительно повышает прочность полимерасфальтобетонов при температуре 50 °С, что свидетельствует о более высокой устойчивости полимерасфальтобетонов при высоких температурах.

3. Практически все использованные полимеры повышают сдвигоустойчивость полимерасфальтобетонов при температуре 50 °С.

4. Установлено, что полимерная добавка Butanal NS 189 заметно повышает трещиностойкость полимерасфальтобетона при 0°С.

## 5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНОВ И ПОЛИМЕР-АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

### 5.1 Испытание битумных вяжущих при низких температурах

Для точной оценки свойств битумных вяжущих при низких температурах разработан прибор «Bending-Beam Rheometer» (BBR) - Реометр с изгибающейся балкой (рисунок 24) согласно стандарту [92]. Низкотемпературная устойчивость асфальтобетона определяется главным образом свойствами битума в нем и при правильном выборе вяжущего можно предотвратить появление температурных трещин. В Технической системе «Supergave» принято, что температурная устойчивость битумного вяжущего обеспечена, если при расчетной низкой температуре его жесткость ( $S$ ) меньше 300 МПа и показатель скорости ( $m$ ) больше 0,3.



Рисунок 24 - Реометр с изгибающейся балкой (BBR)

При низкой температуре определяют прогиб образца битумного вяжущего в виде балки на двух опорах под действием постоянной вертикальной нагрузки. Значения температуры в испытаниях зависят от наиболее низкой температуры при эксплуатации покрытия, когда битумное вяжущее ведет себя подобно упругому твердому телу. Вяжущее не должно быть очень жестким при расчетной зимней температуре, оно должно сохранять способность деформироваться.

Ниже приведено краткое описание условия проведения и результаты испытания битумных вяжущих.

Перед испытанием вяжущее подвергали старению, соответствующему приготовлению смеси (RTFOT) и службе асфальтобетона (5-10 летней службы покрытия (RTFOT+PAV)).

#### 5.1.1 Подготовка битумных образцов

Образцы для испытания приготавливались с использованием алюминиевых форм размерами: L - длина балочки (125 мм), b - ширина балочки (12,5 мм), h - толщина балочки (6,25 мм).

Перед монтированием форм внутренние поверхности двух боковых пластин и нижней пластины слегка смазывали индустриальным маслом. Затем на смазанные поверхности помещали три ацетатные полосы. Концевые элементы смазывались смазкой состоящей из глицерина и талька. После этого форма монтируется и скрепляется с помощью двух резиновых колец.

Битумные вяжущие нагреваются до температуры не выше 163 °С и заливались в форму непрерывным движением от одного конца к другому. После периода охлаждения, состоящего 45-60 минут избыточный битум удаляли с верхней поверхности с помощью горячего шпателя. Затем битумный образец оставляли в форме при комнатной температуре не более чем на 2 часа (рисунок 25).



Рисунок 25 - Битумные балочки приготовленные для испытания

Для удаления образцов из формы их охлаждают в холодильнике 5-10 минут. После удаления балочки из формы их аккуратно перемещают в баню ВВР и выдерживают 60 минут при температуре испытания.

Исследования проводились в диапазоне изменения температуры от -28°С до -46 °С. После выдерживание балочек при заданной температуре проводятся испытания (рисунок 26).

### 5.1.2 Проведение испытания

Балочка помещается на опоры и подвергается серии циклов нагружения. Предварительная нагрузка в 30 мН прилагается в ручную для обеспечения плотного контакта балочки с опорами. Затем в течение одной секунды прилагается опорная нагрузка в 980 мН с помощью программного обеспечения ВВР. В течение 240 сек к балочке прилагается нагрузка 980 мН. По истечении 240 сек испытательная нагрузка автоматически снимается и программа вычисляет жесткость и скорость ползучести (m-value).



Рисунок 26 - Битумная балочка при испытании

В приложении приведен паспорт прибора ВВР.

Максимальное напряжение на нижней поверхности битумной балки в его середине вычисляется по формуле:

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot \ell}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (1)$$

где  $P$  - нагрузка, мН;

$h$ ,  $b$ ,  $\ell$  - высота, ширина и длина балки соответственно, мм.

Максимальная деформация нижней поверхности битумной балки в его середине в момент времени  $t$  вычисляется по формуле:

$$\varepsilon(t) = \frac{6 \cdot h}{\ell^2} \delta(t), \quad (2)$$

где  $\delta(t)$  - максимальный прогиб середины битумной балки, мм.

Модуль жесткости битума при длительности действия нагрузки  $t$  вычисляется по формуле:

$$S(t) = \frac{P \cdot \ell^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \delta(t)}. \quad (3)$$

m-value битума, характеризующее скорость релаксации напряжения, вычисляется по формуле [8]:

$$m(t) = \frac{d \log [S(t)]}{d \log (t)}. \quad (4)$$

## 5.2 Приготовление асфальто- и полимерасфальтобетонных смесей и образцов

Асфальтобетонные и полимерасфальтобетонные смеси приготавливались по методикам, изложенных в пункте 4.1 с введением полимербитума.

Уплотнение асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесей производилось посредством роллерного компактора CRT-RC2S. Образцы асфальтобетона имели форму плит двух размеров: 10,0x30,5x40,5 см и 5,0x30,5x30,5 см. Общий вид роллерного компактора и образцы в форме плит показаны на рисунках 26 и 27.

Уплотнение смеси выполнялись в три ступени нагружения, что моделировало процесс уплотнения асфальтобетонной смеси катком.

Затем из асфальтобетонных плит были вырезаны образцы соответствующих размеров. Вырезка образцов осуществлялась посредством специальной установки (рисунок 27). Вырезанные образцы асфальтобетона показаны на рисунке 27.



Рисунок 27 - Роллерный компактор CRT-RC2S

Роллерный компактор применяют для моделирования в лаборатории реальных условий уплотнения асфальтобетонной смеси дорожным катком. Уплотнение образца осуществляется гладким вальцовым сектором (вальцом).

Секторный компактор предназначен для изготовления образцов асфальта по ПНСТ 185-2016 «Дороги автомобильные общего пользования. Смесей асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Приготовление образцов-плит вальцовым уплотнителем» или EN 12697-33 «Смесей битумные. Методы испытаний горячих асфальтовых смесей. Часть 33. Компактор имеет прочный корпус из листовой стали с защитной дверцей и несущей поперечиной с

электроприводом с размещенной на ней формой для образцов. Уплотнение осуществляется посредством сегмента катка с расположенным сверху приводным устройством с регулированием усилия и перемещения. Форма для образцов предварительно нагревалась до температуры 100 °С. Весь процесс уплотнения проходил с программным управлением согласно предварительно выбранным программам уплотнения. Измерение усилия секторного уплотнителя осуществлялось с помощью тензометрического датчика. Образцы, приготовленные в секторном уплотнителе, могут быть использованы для определения низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов (рисунок 28,29).



Рисунок 28 - Формы плит для изготовления асфальтобетонных образцов



Рисунок 29 - Общий вид резчика асфальтобетона

Резчиком модели «4-350» вырезали асфальтобетонные образцы. Образцы асфальтобетонов для испытания по определению низкотемпературного трещинообразования вырезали стандартным размером 160 x 50 x 50 мм (рисунок 30).



Рисунок 30 - Образцы для испытания по определению низкотемпературного трещинообразования

### 5.3 Подготовка образцов к испытанию

После вырезки образцов, асфальтобетонные образцы высушивались на воздухе до постоянной массы при относительной влажности воздуха менее 80% и температуре 20-25 °С. Образцы считались сухими, когда результаты двух взвешиваний, выполненных с интервалами 24 часа, отличаются менее чем на 0,25%.

Для одного испытания необходимо не менее трех образцов асфальтобетона (для определения среднего арифметического значения) размером 160 x 50 x 50 мм. К образцам асфальтобетона специальным двухкомпонентным клеевым составом приклеивается к верхней и нижней плоскости образца асфальтобетона металлическая пластина из специального сплава.

В качестве клея использовался двухкомпонентный клей KLEIBERIT (пр-во Германия): «KLEIBERIT 573.9 В» и «KLEIBERIT 573.8 А».

Для склеивания применялся специальное приспособление в виде монтажного верстака. Монтажный верстак используется для создания центрального положительного (жесткого) соединения между испытываемым образцом и двумя соединительными пластинами (адаптерами), применяемыми для закрепления испытываемого образца в устройстве для испытания (как показано на рисунках 31 и 32).

Образец должен быть приклеен между двумя адаптерами, при этом образец регулируется по центру относительно адаптеров с помощью монтажного верстака как показано на рисунке 33.



Рисунок 31 - Монтажный верстак



1- Регулировка по вертикали;  
2- регулировка по горизонтали; 3- металлическая пластина (адаптер)

Рисунок 32 - Монтажный верстак

Далее пластину обезжириваем, наносим тонким слоем двухкомпонентный клей на пластину и образец асфальтобетона (рисунок 34), ставим образец на

монтажный верстак, центруем относительно адаптеров с помощью регулировки и оставляем на сутки до полного склеивания (рисунок 34).



Рисунок 33 - Двухкомпонентный клей

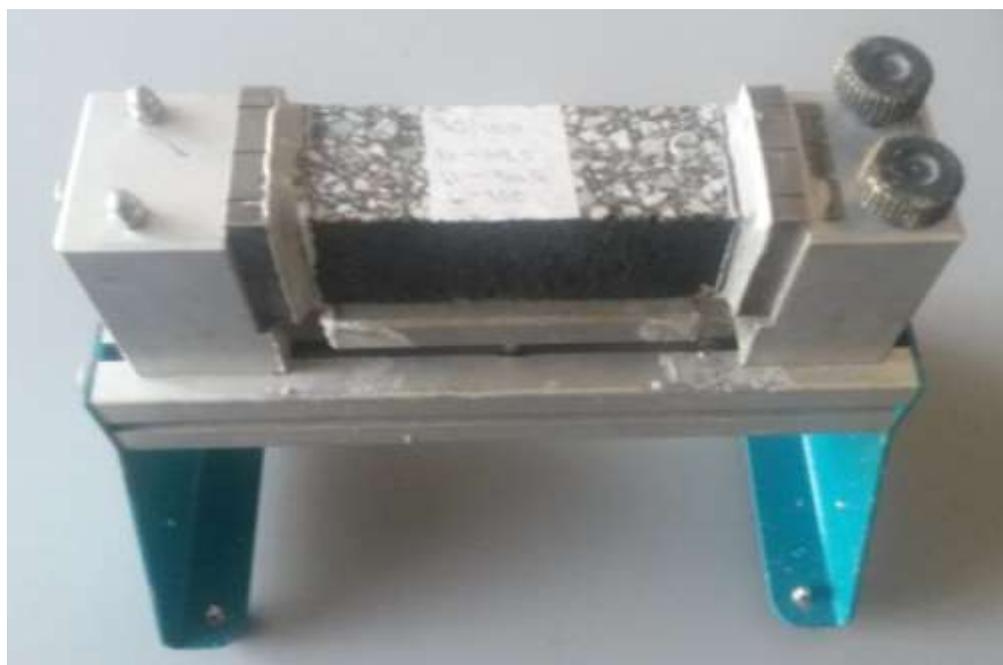


Рисунок 34 - Образец, приклеенный к пластинам (адаптерам)

Далее на приклеенном образце дополнительно закрепляют специальные пластины сверху и снизу для того чтобы опирать на них датчики измерения размеров образца (4 шт.) (рисунок 35), а затем с помощью шпилек устанавливается на стенд разрушающего устройство.



Рисунок 35 - Поэтапная подготовка образца асфальтобетона к испытанию

#### **5.4 Установка «TRAVIS 20-6000»**

Испытание по определению низкотемпературных характеристик асфальто- и полимерасфальтобетонов выполнялось на установке «TRAVIS 20-6000» производства компаний «Infra Test Pruftechnik GmbH» (Германия) которое показана на рисунке 36.

Установка представляет собой климатическую камеру (рисунок 36) с испытательным стендом - разрушающим устройством (рисунок 36).

Климатическая камера имеет двухступенчатую систему охлаждения с принудительной циркуляцией воздуха для создания температуры от + 20 до - 40 °С, в зависимости от вида испытания и скоростью изменения температуры в середине образца 10 К/час., а также камера снабжена двумя датчиками температуры. Первый датчик установлен внутри камеры и показывает температуру камеры при испытании. Второй датчик находится внутри эталонного образца и показывает температуру внутри образца при испытаниях (рисунок 37).

Испытательный стенд с разрушающим устройством состоит из металлической рамы с закрепленным в нем четырьмя датчиками перемещения (рисунок 38) с чувствительностью сенсоров 0,5 микрона, а также имеется специальное устройство, которое каждый раз возвращает размеры образца к исходным значениям. Таким образом, получается, что длина образца всегда постоянна, а в образце образуются усилия, которые измеряются датчиком нагрузки (рисунок 39). Электрические сигналы датчиков нагрузки и деформации контролируются и регистрируются в записывающем

оборудовании, подсоединенным к микропроцессору компьютера (рисунок 40).  
Установленный образец для испытания показан на рисунке 41-43.



Рисунок 36 - Установка «TRAVIS 20-6000» производства компаний «Infra Test Pruftechnik GmbH» (Германия)



Рисунок 37 - Климатическая камера



Рисунок 38 - Испытательный стенд с разрушающим устройством

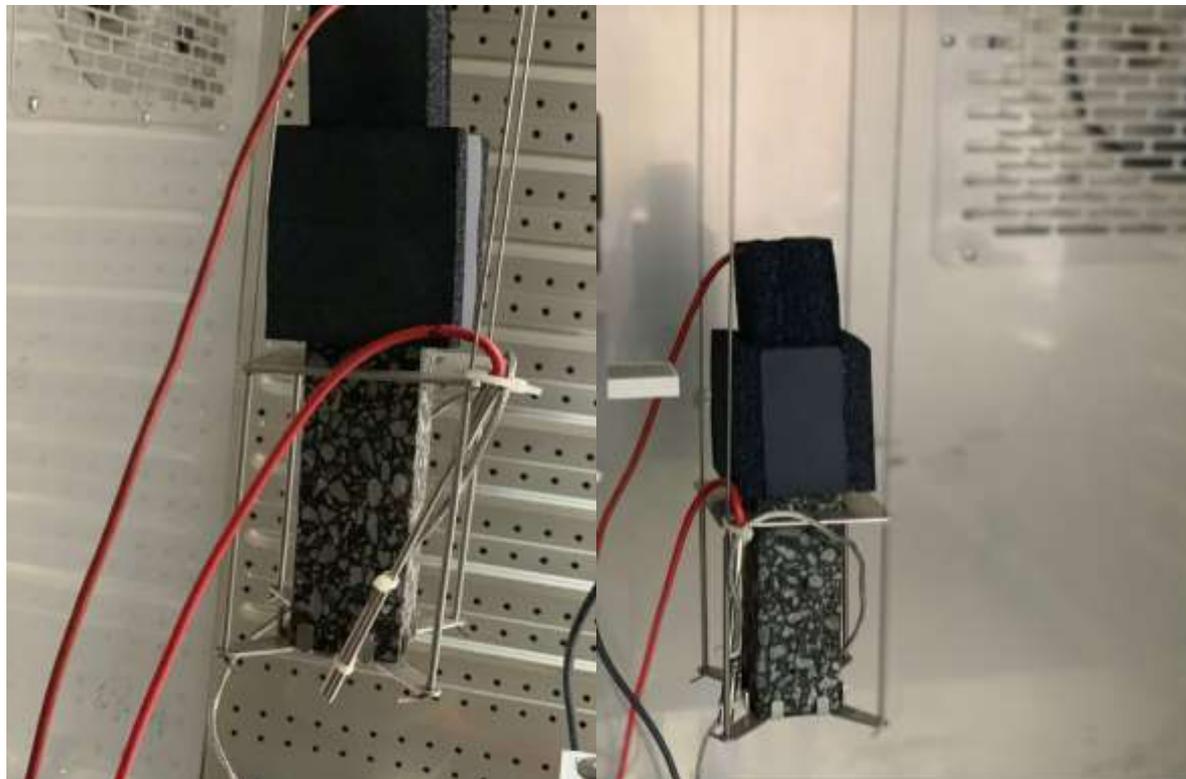


Рисунок 39 - Дачики температуры в образце асфальтобетона



Рисунок 40 - Датчики перемещения

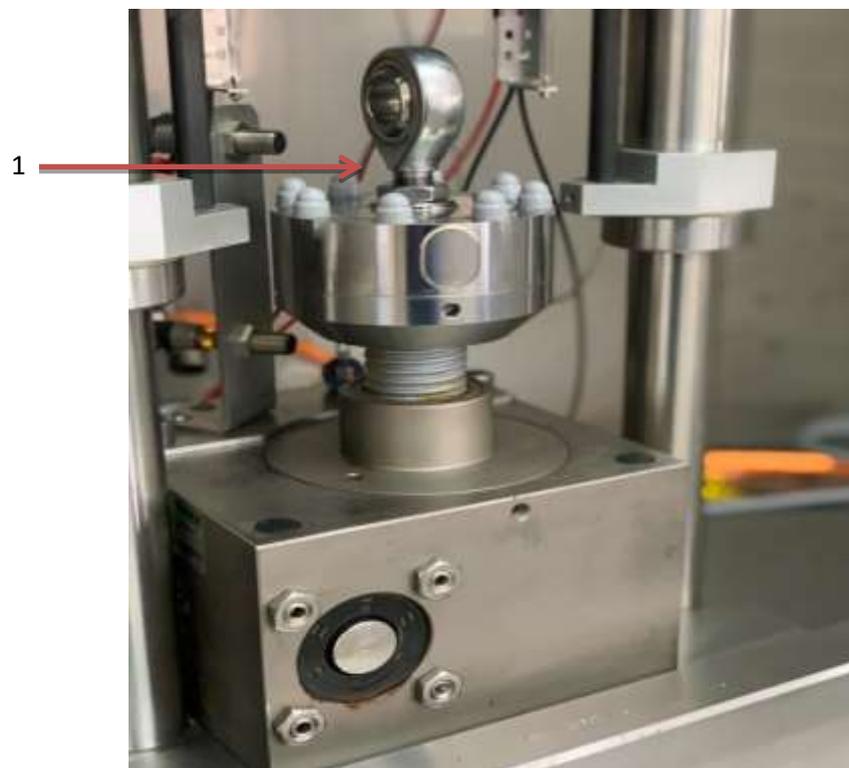


Рисунок 41 - Датчик усилия и нагрузки



Рисунок 42 - Записывающее оборудование, подсоединённое к микропроцессору компьютера



Рисунок 43 - Установленный образец для испытания

## 5.5 Методики определения низкотемпературных характеристик

Эксплуатационные показатели асфальтобетонных образцов при низких температурах могут быть определены с помощью испытания одноосными растягивающими напряжениями, и испытаниям образца температурными напряжениями при боковом ограничении.

### 5.5.1 Одноосное растягивающее напряжение

В испытании одноосным растягивающим напряжением (рисунок 44) образец вытягивается с постоянной скоростью деформации при постоянной температуре вплоть до разрушения. Результатами одноосного растягивающего напряжения являются максимальное напряжение и соответствующая деформация растяжения при постоянной температуре.

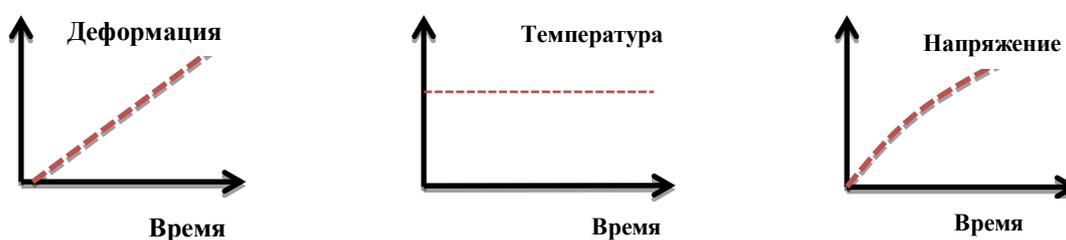


Рисунок 44 - Принципы испытания образца асфальтобетона одноосным растягивающим напряжением

### 5.5.2 Температурное напряжение при торцевом ограничении

В испытании температурным напряжением при торцевом ограничении образец, длина которого поддерживается постоянной, подвергается воздействию понижения температуры с постоянной скоростью. Вследствие чрезмерно высокой усадки в образце развивается криогенное напряжение вплоть до разрушения. Результатами являются критическое напряжение  $\sigma_{cr}$  и критическая температура  $T_{cr}$ , при которых образец асфальтобетона разрушается (рисунок 45).

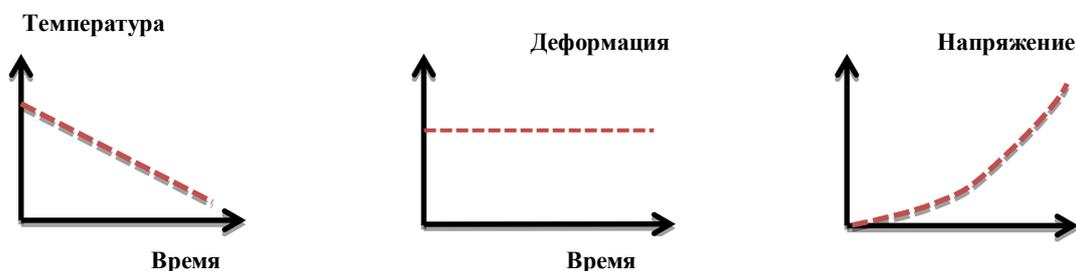


Рисунок 45 - Принципы испытания образца асфальтобетона температурным напряжением при ограничении торцевых деформаций

## 5.6 Низкотемпературные характеристики битумных вяжущих

Показатели низкотемпературной устойчивости битумных вяжущих – жесткость  $S$  и скорость релаксаций при длительности нагружения 60 секунд, определенные на приборе VBR, представлены на рисунках 46 и 47. Технические условия «Superpave» требуют, чтобы при длительности нагружения 60 секунд жесткость битумных вяжущих при расчетной минимальной температуре не должна превышать 300 МПа, скорость релаксаций не должно быть ниже 0,3 [93]. Так как релаксирующая способность битумных вяжущих снижается с понижением температуры, практически у всех вяжущих тем ниже скорость релаксаций, чем ниже температура. Но у всех испытанных вяжущих даже при температуре  $-36^{\circ}\text{C}$  скорость релаксаций выше требуемой минимальной величины. С понижением температуры жесткость вяжущих увеличивается. Жесткость у всех испытанных вяжущих при температурах  $-24^{\circ}\text{C}$  и  $-30^{\circ}\text{C}$  существенно ниже допустимой максимальной величины, а при температуре  $-36^{\circ}\text{C}$  только немодифицированный битум марки 130/200 и битум марки 100/130 с полимером Calprene удовлетворяют требованию «Superpave».

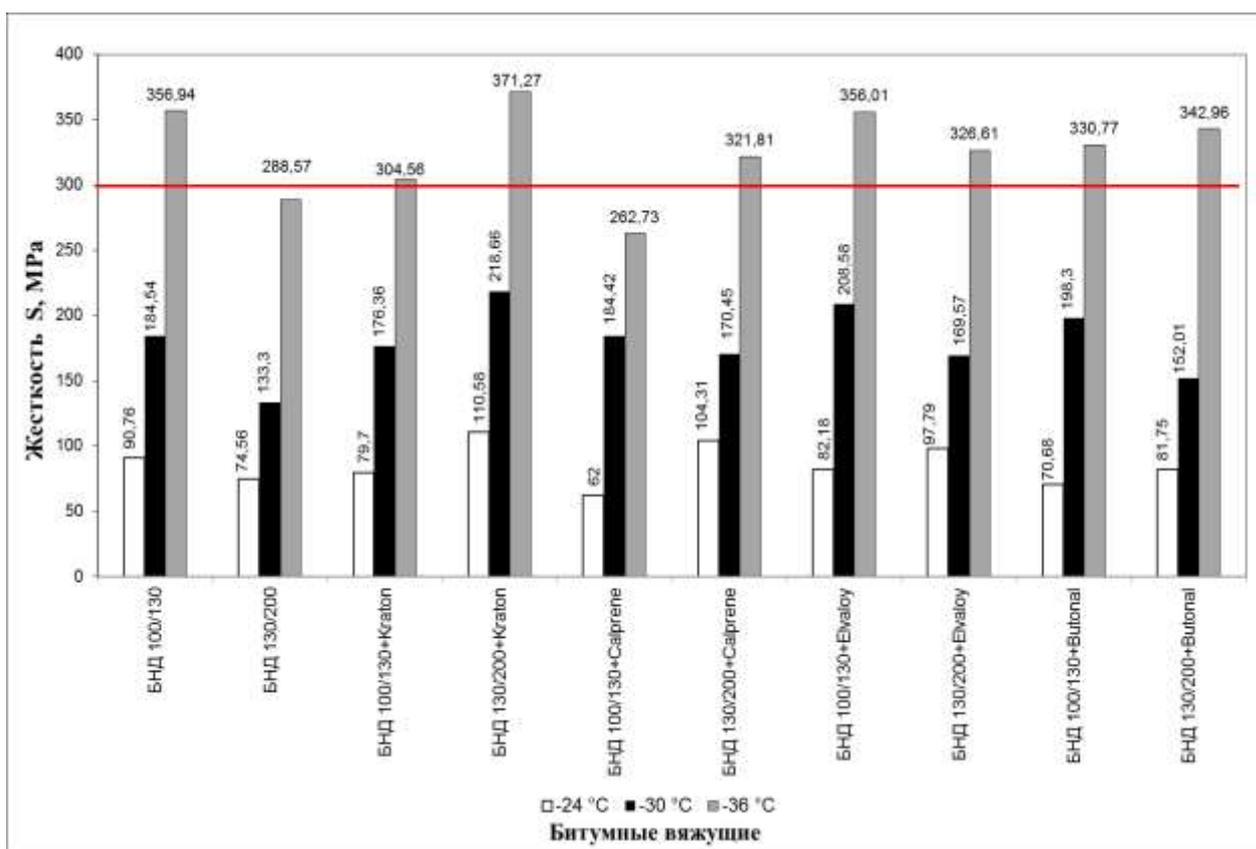


Рисунок 46 - Жесткость битумных вяжущих при низких температурах

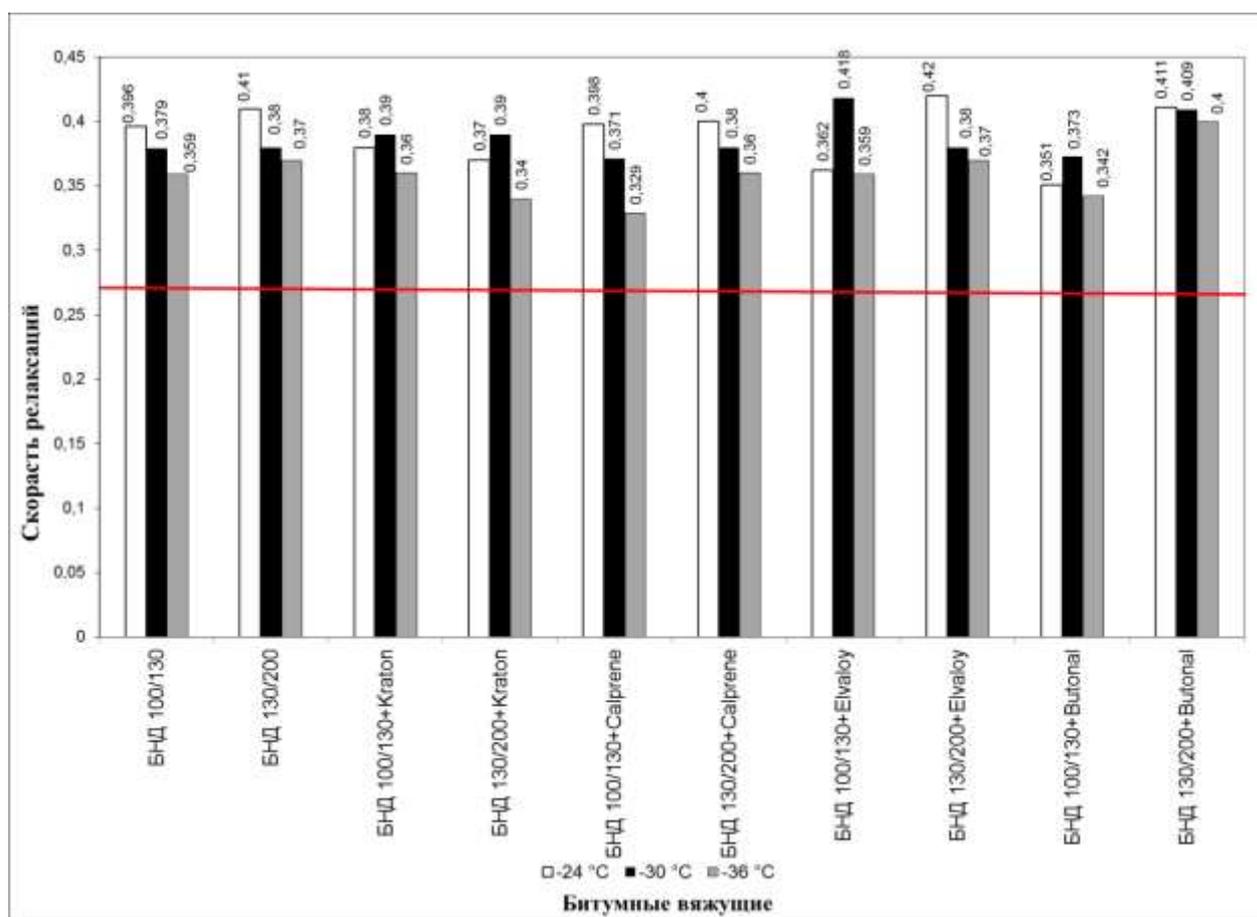


Рисунок 47 - Скорость релаксаций битумных вяжущих при низких температурах

Нетрудно понять, что важной характеристикой низкотемпературной устойчивости битумных вяжущих может являться та температура, которая соответствует максимально допустимой величине жесткости по системе «Supergrave», то есть температура, при которой жесткость вяжущего равна 300 МПа. Эту температуру мы назовем критической температурой вяжущего и обозначим через  $T_{scr}$ . На рисунке 47 показано как определяется критическая температура  $T_{scr}$  по результатам измерения жесткости вяжущего на приборе BBR.

А на рисунке 48 представлены значения критической температуры вяжущих  $T_{scr}$ , определенные указанным выше способом. Как видно, оказалось, что значения критической температуры битумных вяжущих находятся в пределах от  $-33,7^{\circ}\text{C}$  до  $-38,2^{\circ}\text{C}$ . При этом, за исключением нескольких вяжущих (битум марки 130/200 с полимером Kraton, битум марки 130/200 с полимером Butonal), у большинства испытанных битумных вяжущих критическая температура изменяется в относительно узких пределах (от  $33,7^{\circ}\text{C}$  до  $36,7^{\circ}\text{C}$ ).

При этом значения критическая температура у исходного битума марки БНД 100/130 составляет  $-34,1^{\circ}\text{C}$ . Когда у исходного битума марки БНД 130/200 составляет  $-36,7^{\circ}\text{C}$ .

Как видно на рисунке 49, при добавлении в исходный битум марки БНД 130/200 значение критической температуры в основном уменьшается, только в одном случае (битум марки 130/200 с полимером Calprene) значение критической температуры ниже  $-38,2$  °С.

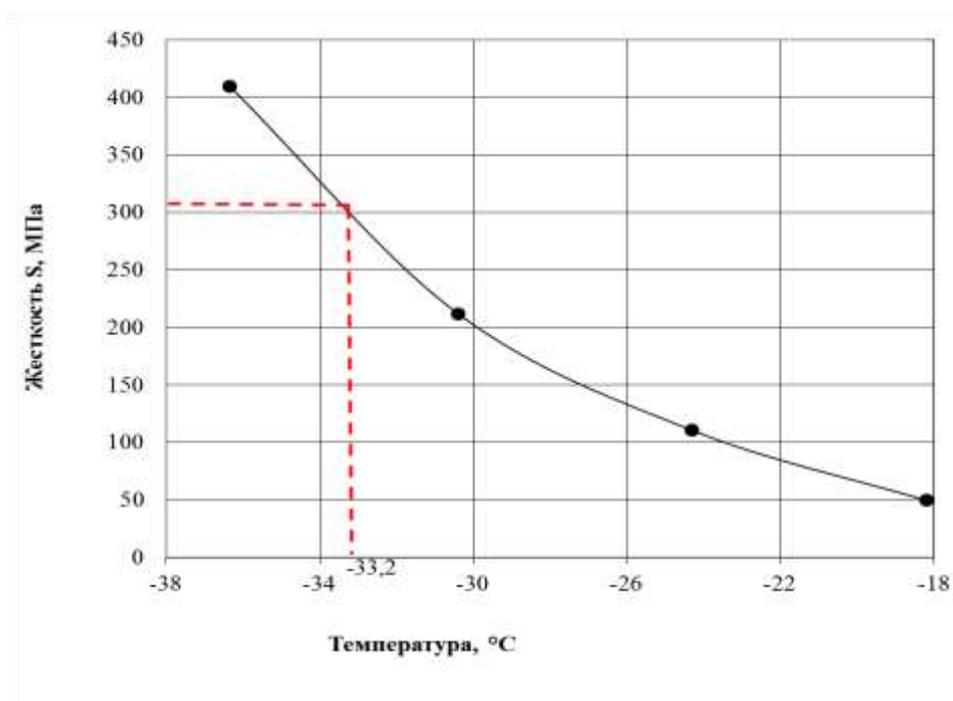


Рисунок 48 - Определение критической температуры вяжущего  $T_{bc}$

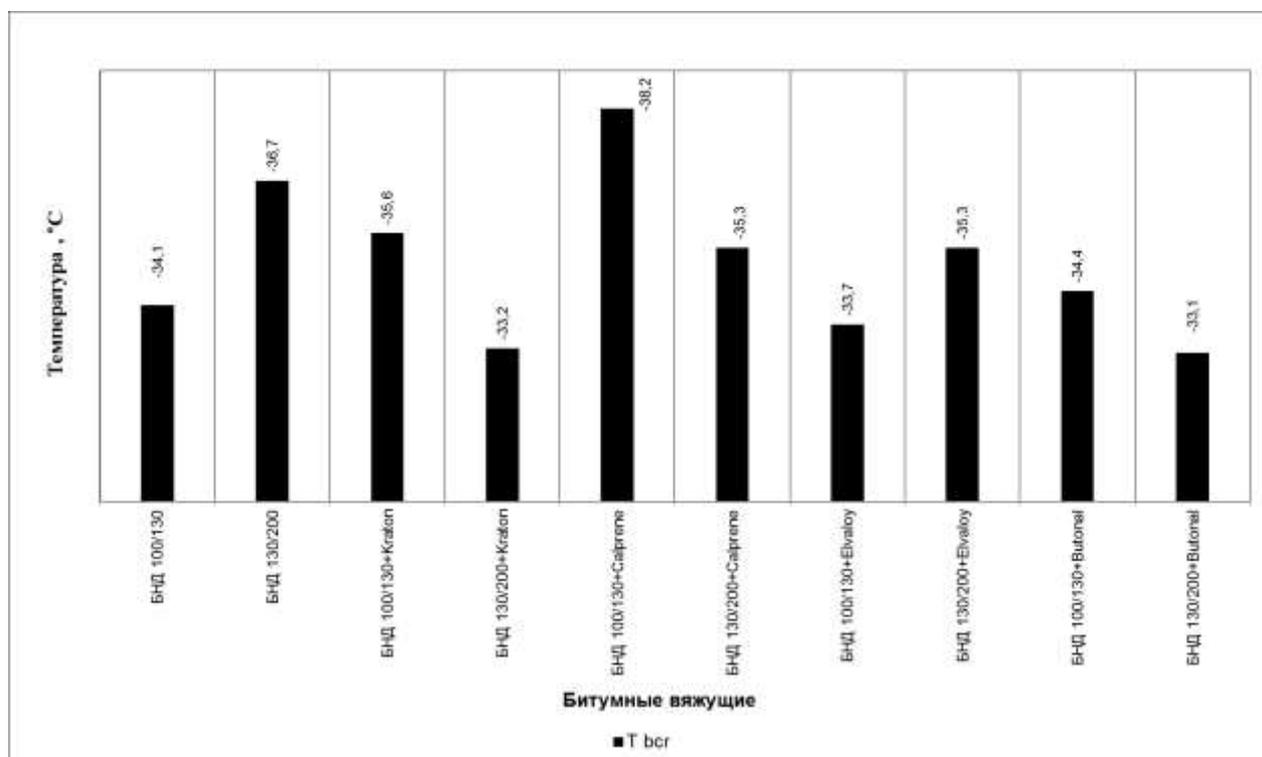


Рисунок 49 - Критические температуры битумных вяжущих  $T_{bc}$

## 5.7 Низкотемпературные характеристики асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов

### 5.7.1 Испытание асфальтобетонов одноосным растягивающим напряжением

На рисунках 48-49 представлены гистограммы, построенные по результатам испытания разных видов асфальтобетонов по схеме деформирования с постоянной скоростью при температурах  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$  и  $-30^{\circ}\text{C}$ . Как видно (рисунок 50), за исключением асфальтобетона с битумом марки БНД 130/200 и полимером Kraton, практически все испытанные асфальтобетоны при этой температуре показали близкую прочность. На фоне примерно одинаковых значений прочности всех остальных асфальтобетонов, существенно низкая прочность асфальтобетона с битумом марки БНД 130/200 и полимером Kraton может быть объяснена индивидуальными дефектами в образце асфальтобетона. Таким образом, можно сделать заключение о том, что при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$  еще не достаточно заметно проявляется различие в значениях прочности при растяжении рассмотренных видов асфальтобетона.

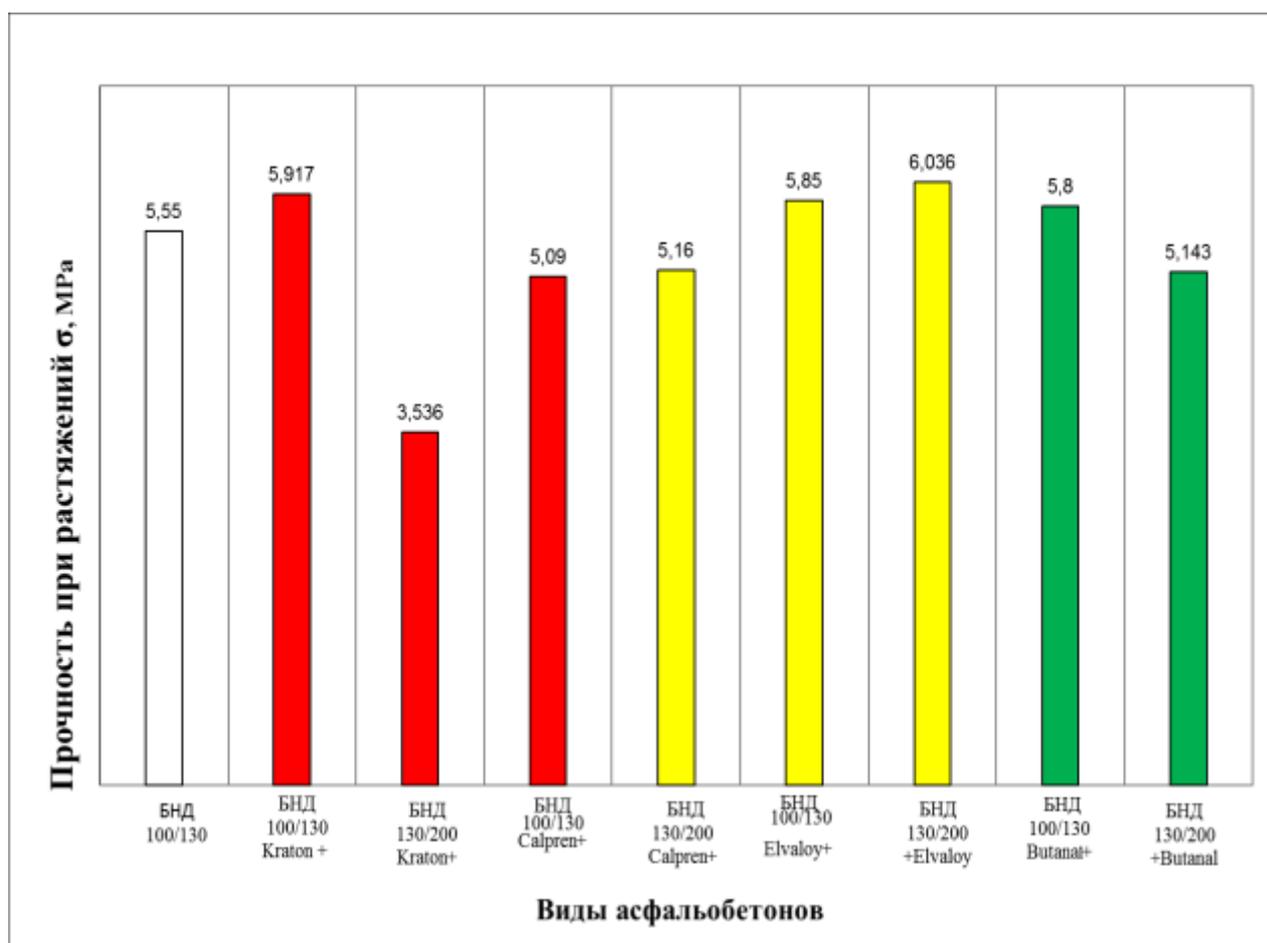


Рисунок 50 - Прочность при растяжении асфальтобетонов при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$

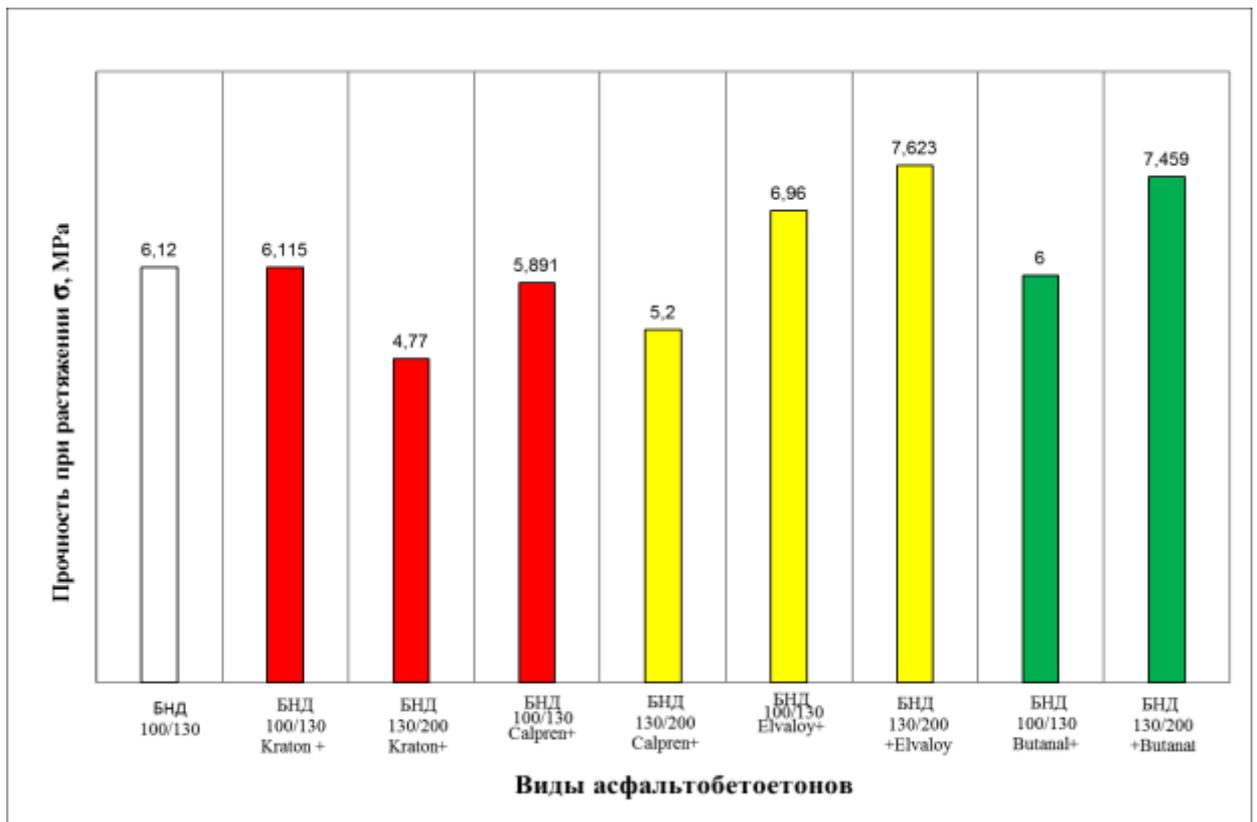


Рисунок 51 - Прочность при растяжении асфальтобетонов при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$

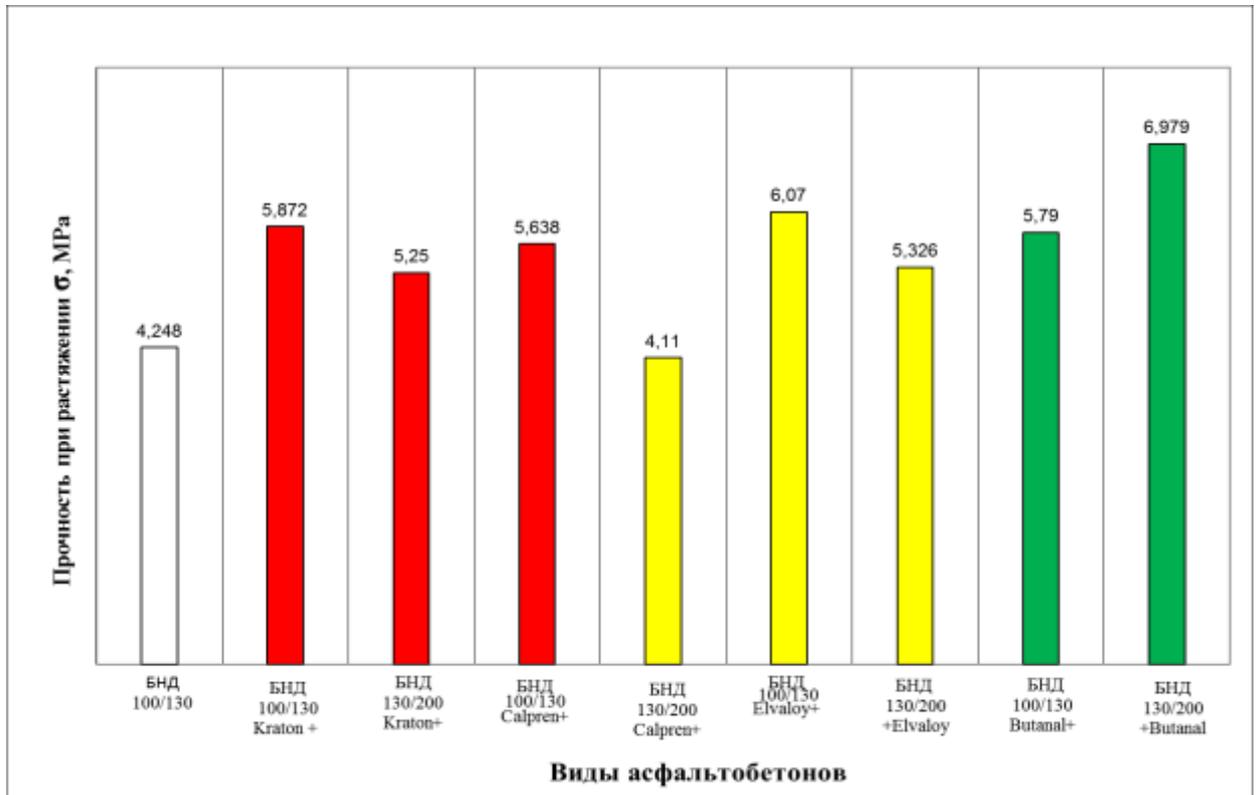


Рисунок 52 - Прочность при растяжении асфальтобетонов при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$

Хорошо видно (рисунки 51 и 52), что с понижением температуры различие в значениях прочности асфальтобетонов становится отчетливым. Чем ниже температура испытания, тем прочность при растяжении разных видов асфальтобетона сильнее отличается.

При температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  высокую прочность по сравнению с обычным асфальтобетоном с битумом марки БНД 100/130 имеют следующие асфальтобетоны с соответствующим приростом: с битумом марки 130/200, полимером Kraton (15 %), с битумом марки БНД 130/200, полимером Calprene (1 %), с битумом марки БНД 100/130 и полимером Elvaloy (16 %), с битумом марки БНД 130/200 и полимером Elvaloy (29 %) и с битумом марки БНД 130/200 и полимером Butonal (32 %).

При температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  существенно высокую прочность по сравнению с обычным асфальтобетоном показали следующие асфальтобетоны: с битумом марки БНД 100/130 полимером Kraton (38%), с битумом марки БНД 100/130 и полимером Calprene (33%), с битумом марки 100/130 и полимером Elvaloy (43%), с битумом марки 130/200 и полимером Butonal (64%).

Изложенные выше результаты испытаний показывают, что:

- модифицирование менее вязкого битума (марка 130/200) с полимерами существенно повышают прочность асфальтобетонов по сравнению с более вязким немодифицированным битумом марки 100/130;

- при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  асфальтобетон с битумом марки БНД 130/200 и полимером Calprene, показали сравнительно низкую прочность. Только асфальтобетон с полимером Butonal показал высокую прочность в случае менее вязкого битума марки БНД 130/200, тогда как асфальтобетоны с остальными полимерами (Kraton, Calprene и Elvaloy) имели высокую прочность в случае более вязкого битума марки БНД 100/130.

#### 5.7.2 Испытание асфальтобетонов температурным напряжением при ограничении торцевых деформаций

Гистограммы, построенные по результатам испытания асфальтобетонов по схеме TSRST (минимальная температура, которую может выдержать асфальтобетон до разрушения, посредством испытания образца при воздействии температурных напряжений при ограничении) и показывающие распределение критической температуры и критического напряжения по видам асфальтобетонов, представлены на рисунках 53 и 54. Как видно, модификация битума полимерами повышают характеристики низкотемпературной устойчивости асфальтобетонов. При этом критическая температура (рисунок 54) снижается от  $6,6^{\circ}\text{C}$  (битум марки БНД 130/200 + полимер Kraton) до  $1^{\circ}\text{C}$  по сравнению с обычным асфальтобетоном с битумом марки БНД 100/130. Из всех представленных асфальтобетонов на рисунке 50, минимальную критическую температуру показал асфальтобетон исходным битумам марки БНД 130/200.

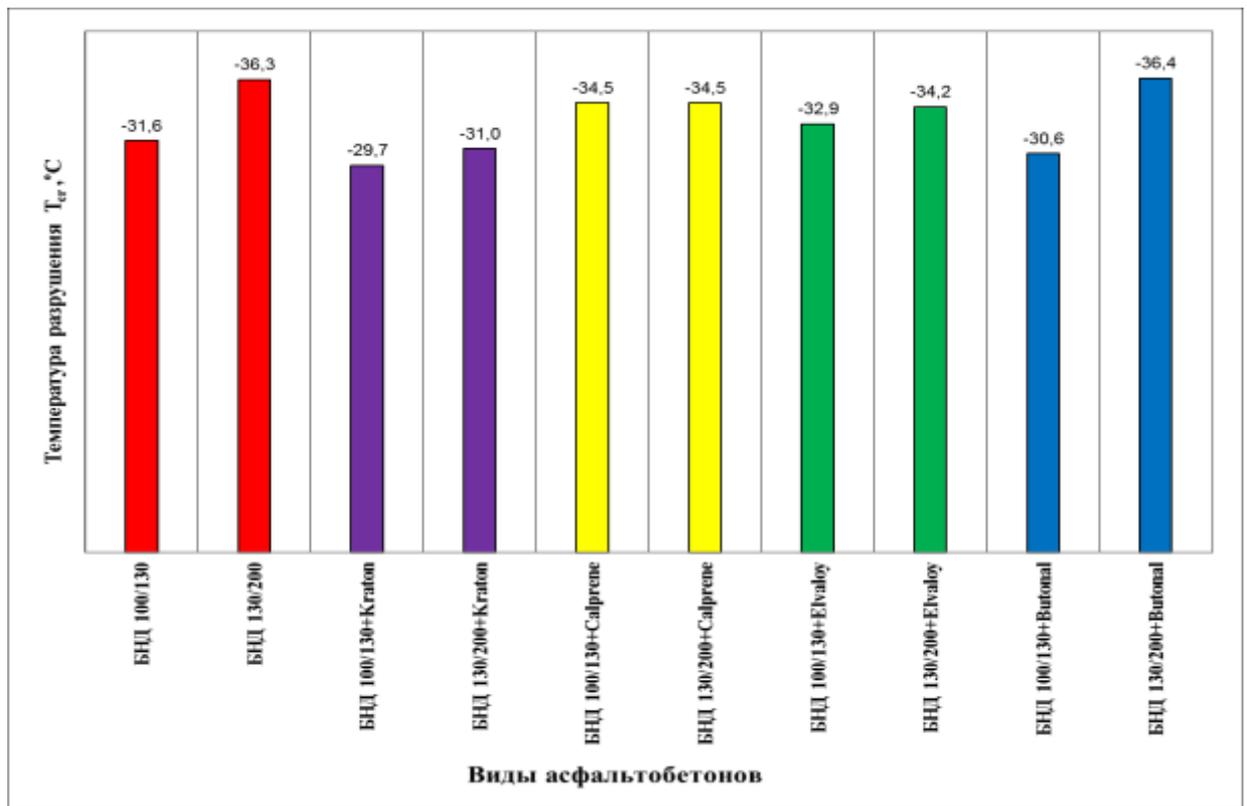


Рисунок 53 - Критические температуры асфальтобетонов  $T_{cr}$

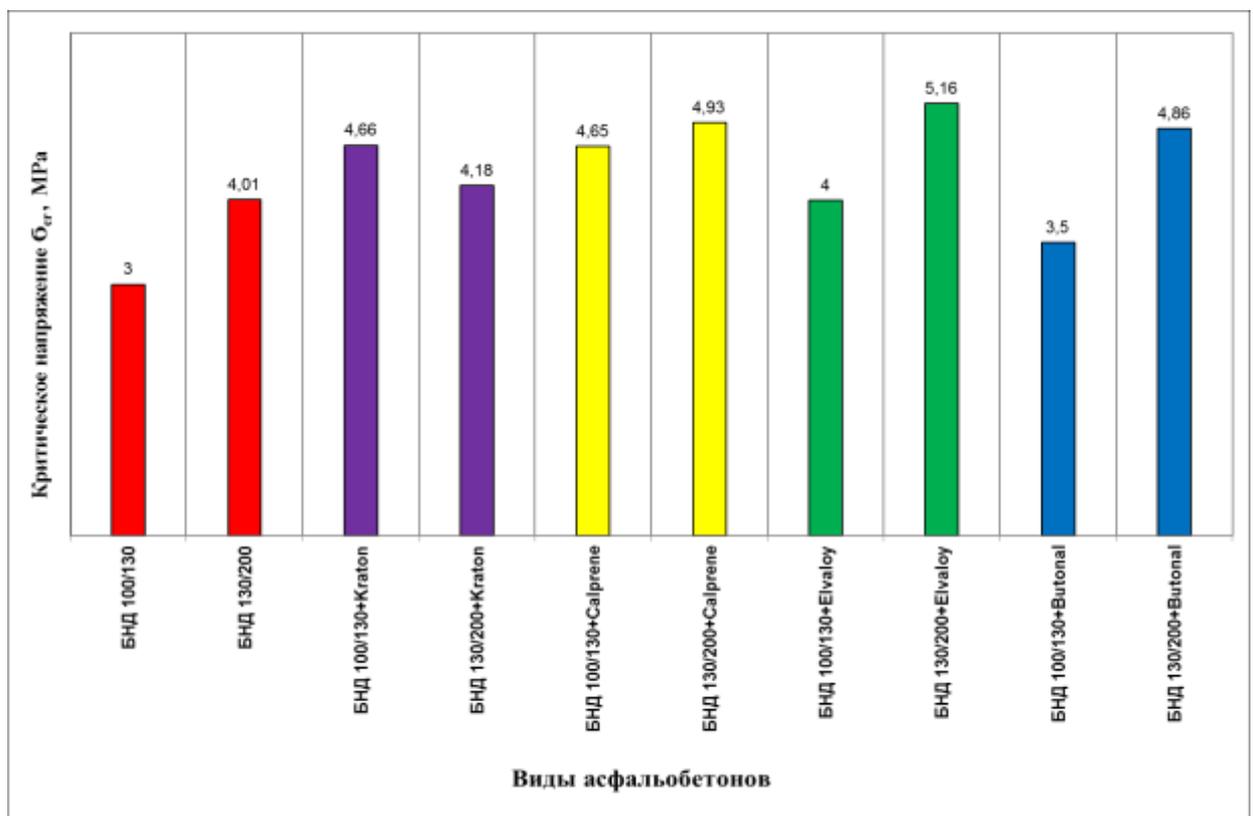


Рисунок 54 - Критическое напряжение для асфальтобетонов  $\sigma_{cr}$

Оказалось, что эффект модифицирования битума полимерами на прочность асфальтобетонов наиболее ярко выражен в значениях критического напряжения (рисунок 54). Практически со всеми видами асфальтобетонов имеет место следующая последовательность в повышении критического напряжения для них: более вязкий битум марки БНД 130/200 → менее вязкий битум марки БНД 100/130 → битум марки БНД 100/130 + полимер → битум марки БНД 130/200 + полимер → битум марки БНД 130/200 + полимер. Так, повышение критического напряжения для асфальтобетонов с битумом марки БНД 100/130 + полимер Elvaloy, с битумом марки БНД 130/200 + полимер Elvaloy составило одинаковое значение. При модификации битума марки БНД 100/130 критическая температура повышается, соответственно по сравнению с асфальтобетоном с немодифицированным битумом марки БНД 100/130.

### 5.8 Сравнение критических температур битумных вяжущих и асфальтобетонов

Внимательный анализ гистограмм на рисунках 46 и 54 показывает, что значения критической температуры битумных вяжущих  $T_{bcr}$  и критической температуры соответствующих асфальтобетонов  $T_{cr}$  очень близки друг другу. Для наглядного представления гистограмма значений критических температур битумных вяжущих  $T_{bcr}$  и соответствующих асфальтобетонов  $T_{cr}$  показана на рисунке 55. Как видно, действительно значения соответствующих критических температур оказались очень близкими. Из таблицы 4 видно, что за исключением трех случаев (битум марки 100/130 с полимерами Kraton, Calprene и Butanal) для всех остальных вяжущих отклонение  $T_{bcr}$  от  $T_{cr}$  не превышает 10%. Такая достаточно хорошая сходимости двух критических температур может быть еще улучшена с увеличением количества параллельных образцов битумных вяжущих и асфальтобетонов при испытании.

Таблица 4 - Значения критических температур битумных вяжущих  $T_{bcr}$  и соответствующих асфальтобетонов  $T_{cr}$

Асфальтобетон с битумным вяжущим	Критическая температура, °С		Отклонение, %
	$T_{bcr}$	$T_{cr}$	
Bit 100/130	-34,1	-31,6	-7,3
Bit 130/200	-36,7	-36,3	-1
Bit 100/130 + Kraton	-35,6	-32,6	-8,4
Bit 130/200 + Kraton	-33,2	-29,7	-10,5
Bit 100/130 + Calprene	-38,2	-31,0	-18,8
Bit 130/200 + Calprene	-35,3	-33,8	-4,2
Bit 100/130 + Elvaloy	-33,7	-34,5	2,4
Bit 130/200 + Elvaloy	-35,3	-34,5	-2,3
Bit 100/130 + Butanal	-34,4	-36,1	4,9
Bit 130/200+ Butanal	-33,1	-32,9	-0,6

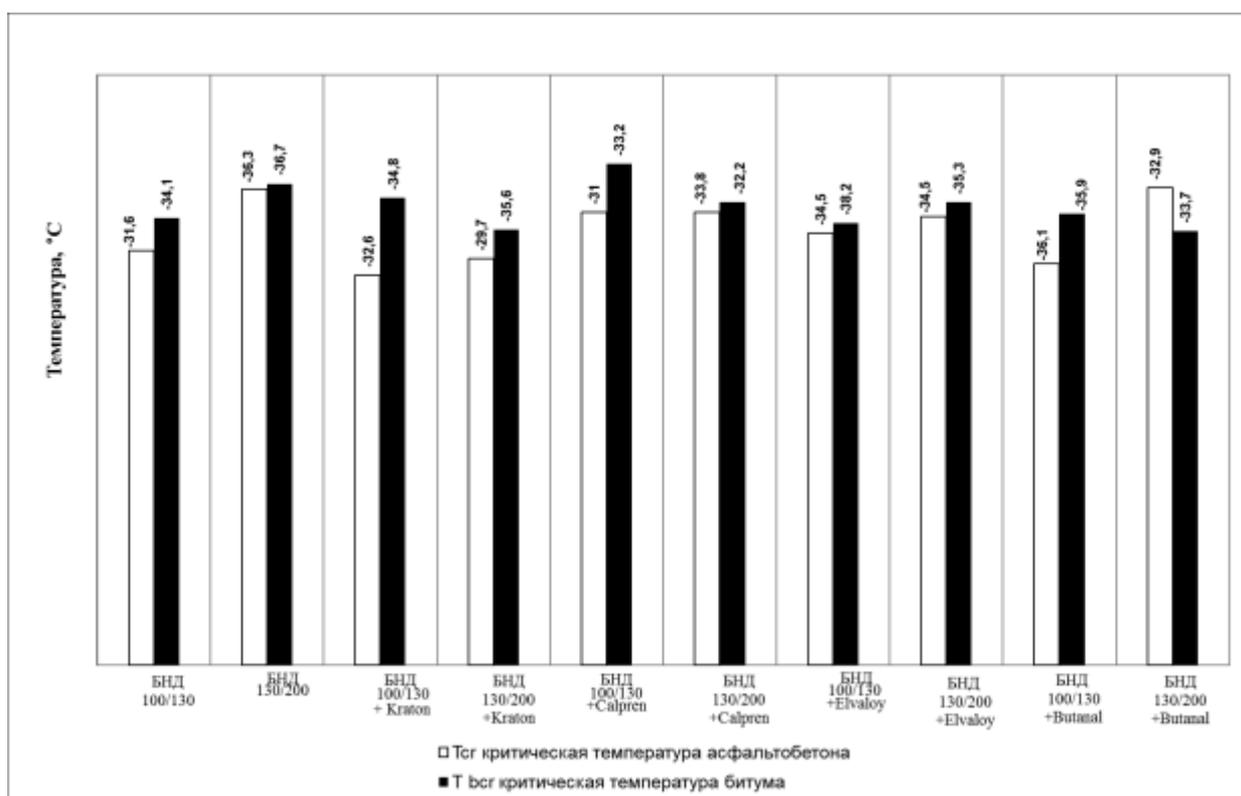


Рисунок 55 - Значения критических температур битумных вяжущих и соответствующих асфальтобетонов

Путем сравнения критических температур битумных вяжущих и асфальтобетонов показана, что значения критических температур битумных вяжущих сопоставима с критическими температурами соответствующих асфальтобетонов.

### Выводы по 5 разделу

1. Скорость релаксаций при испытании исходных и модифицированных битумов на низкотемпературные свойства на приборе BBR при всех температурах испытания (-24°C, -30°C и -36°C) выше требуемой минимальной величины, равной 0,3. Этот факт наводит на мысль о том, что в случае окисленных битумов по критерий системы «Supergrave» скорость релаксаций не работает.

2. Жесткость всех испытанных битумных вяжущих при температурах -24°C и -30°C существенно ниже допустимой максимальной величины, равной 300 МПа. А при температуре -36 °C только исходный битум марки БНД 130/200 и битум марки БНД 100/130 с полимером Calprene удовлетворяют требованию «Supergrave».

Значения критической температуры, при которой вяжущее имеет допустимую максимальную жесткость (300 МПа), находятся в пределах от -32,2 °C до -38,2 °C. У большинства испытанных битумных вяжущих критическая температура изменяется в относительно узких пределах (от 33,8°C до 36,7°C). Исключение составляет только битум марки БНД 130/200

модифицированный полимером Kraton (-33.2°C) и с полимером Butonal (-33,1°C).

3. При деформировании с постоянной скоростью при температуре – 10 °С прочности испытанных асфальтобетонов близки по значению: 5,1 - 6,0 МПа. С понижением температуры разница в значениях прочности разных видов асфальтобетонов становится более заметной. Так, прочность асфальтобетонов при температурах -20 °С и -30°C изменяется в пределах от 4,8 МПа до 7,6 МПа и от 4,1 МПа до 7,0 МПа соответственно.

Модификация битумов полимерами дали положительный эффект при температурах -20°C и -30°C.

4. Результаты испытания асфальтобетонов по схеме испытания образца при воздействии температурных напряжений при ограничении (TSRST) свидетельствуют от том, что модификация битумов полимерами повышает характеристики низкотемпературной устойчивости асфальтобетонов. Для разных полимеров получено снижение критической температуры от 2,2 °С до 4,9 °С.

Оказалось, что эффект модификации битумов полимерами более ярко проявляются в значениях критического напряжения. Из анализа результатов испытаний следует, что максимальное повышение критического напряжения может составить более 80%.

5. Установлено, что значения критической температуры битумных вяжущих и критической температуры соответствующих асфальтобетонов практически одинаковы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты, полученные в настоящей диссертации, можно увязать с установленными ранее низкотемпературными требованиями к битумным вяжущим с учетом климатических особенностей республики, а так же можно использовать для принятия решения по применению полимерно-битумных вяжущих и асфальтобетонов на их основе с учетом расчетных температур и условий эксплуатации асфальтобетонного покрытия.

2. Экспериментально доказана целесообразность применения полимерных добавок для повышения низкотемпературной трещиностойкости асфальтобетона. Получены экспериментальные данные и зависимости, определяющие низкотемпературную устойчивость полимерасфальтобетона при критических температурах.

3. Результаты исследований позволяют проектировать асфальтобетон по низкотемпературным свойствам соответствующим климатическим условиям эксплуатации.

4. Полученные результаты дают возможность улучшить характеристики дорожного покрытия за счет использования модифицированной асфальтобетонной смеси в слоях дорожной одежды. Это обеспечивает альтернативный подход к продлению срока службы дорожного покрытия в дополнение к существующей практике, главным образом, с использованием модифицированного полимером асфальтовой смеси.

5. Полученные данные с применением полимерных добавок и разных составов асфальтобетонных смесей поможет для накопления опыта и могут быть использованы в дальнейшем при расчете и нормировании характеристик асфальтобетонных смесей и битумных вяжущих.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Грушко И.М., Королев И.В., Борщ И.М., Мищенко Г.М. Дорожно-строительные материалы. - М.: Транспорт, 1983. - 383 с.;
- 2 Сахаров В.П. Транспорт и дороги города. – 1935. - №9. – С. 15-20.
- 3 Иванов Н.Н., Горелышев Н.В. Пути увеличения долговечности асфальтобетонных покрытий // Автомобильные дороги. – 1964. - №1. - С. 21 -22.
- 4 Иванов Н.Н., Михайлов В.В. Строительство дорожных покрытий с применением битумов. - М.: Росвузиздат, 1963. - 43 с.
- 5 Иванов Н.Н. Строительство автомобильных дорог. - М.: Автотрансиздат, 1955. - 388 с.
- 6 Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / под. ред. Иванова Н.Н. - М.: Транспорт, 1973. - 328 с.
- 7 Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. - М.: Наука, 1958. - 64 с.; Ребиндер П.А. Поверхностно-активные вещества. - М.: Знание, 1962. - 46 с.
- 8 Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. - М.: Наука, 1979. - 384 с.
- 9 Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. - М.: Высшая школа, 1969.- 396 с.
- 10 Борщ И.М. Процессы структурообразования в асфальтобетонных материалах // Труды МАДИ. - М.: МАЛИ, 1958. - Вып. 25. – 180 с.
- 11 Волков М.И., Королев И.В. Асфальтовый бетон на полимеризат-битуме // Автодорожник Украины. – 1963. - №2. - С. 41-43.
- 12 Ладыгин Б.И., Яцевич И.К. Прочности и долговечности дорожных бетонов. – Минск: Наука и техника, 1972. - 286 с.
- 13 Смирнов В.М. Структура и свойства асфальтовязущих// Труды ХАДИ. - Харьков: ХАДИ, 1954. - Вып. 17. - С. 56-58.
- 14 Михайлов Н.В. Основы улучшения и регулирования свойств дорожных битумов и битумоминеральных материалов. - Балашиха: Союздорнии, 1965. - 48 с.
- 15 Stefanczyk B. Strukturamo-mechaniczne wlasciwosci asfaltow w szerokim zakresie temperatur. Politechnika Szczecinska. – Szczecin: Instytut Inzynierii Ladowej, 1989. - 173 s.
- 16 Гезенцевей Л.Б., Колбанев И.В., Рвачев Э.М. Механо-химические процессы в битумоминеральных смесях // Автомобильные дороги. – 1971. - №2. - С. 8-10.
- 17 Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М.: Транспорт, 1973. – 261 с.
- 18 Колбановская А.С., Гезенцевей Л.Б., Михайлов В.В. Роль тонких слоев битума в процессах структурообразования дисперсных битумоминеральных материалов // Коллоидный журнал. - 1963. - Т. 20, №3. - С. 25 - 29.
- 19 Михайлов В.В. и др. Строительство дорожных покрытий с применением битумных материалов. - М.: Транспорт, 1963. - 242 с.
- 20 Руденская И.М. Нефтяные битумы. - М.: Росвузиздат, 1963. - 42 с.

- 21 Богуславский А.М., Богуславский Л.А. Основы реологии асфальтобетона. - М.: Высшая школа, 1972. - 199 с.
- 22 Kalabinska M., Pitat J. A study on relation between rheological properties of bitumens and asphalt mixes. Research of Hydraulic Engineering // Proceedings of the Polish - Yugoslav Symposium. - Gdansk, 1984. - P. 67-73.
- 23 Stefanczyk B. Materiały drogowe. Politechnika Szczecińska. Instytut Inżynierii Ldowej. Szczecin, 1989. 225 s.
- 24 Лысихина И.А. Применение поверхностно-активных и других добавок при строительстве и подобных им дорожных покрытий. - М.: Автотрансиздат, 1957. - 56 с.
- 25 Бабаев В.И., Королев И.В. Технические поверхностно-активные вещества из вторичных ресурсов в дорожном строительстве. - М.: Транспорт, 1985. - 144 с.
- 26 Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог. - М.: Автотрансиздат, 1956. - 340 с.
- 27 Кузнецов Ю.В. Требования к сцепным качествам покрытия и методы их обеспечения // Автомобильные дороги. -1995. - №6. - С. 28-30.
- 28 Iwanski M. Dependence between the amount of adhesive agent and physiko-mechanical properties of asphalt concrete // VII International Conference "Durable and Safe Roads Pavements". - Poland: Kielce, 2001. - P. 65-73.
- 29 Stefaiiczek B. Wpływ dodatków powierzchniowo-aktywnych substancji (PAS) na strukturalno-reologiczne właściwości asfaltów i mieszanin mineralno-asfaltowych wytwarzanych na gorąco // Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej. - 1980. - №145. - 231 s.
- 30 Ладыгин Б.И., Яцевич И.К. Прочности и долговечности дорожных бетонов. - Минск: Наука и техника, 1972. - 286 с.
- 31 Luszawski S. Nawierzchnie bitumiczne. - Warszawa: WKiL, 1968. - 544 s.
- 32 Stefanczyk B. Materiały drogowe. Politechnika Szczecińska. - Szczecin: Instytut Inżynierii Ldowej, 1989. - 225 s.
- 33 Богуславский А.М. Напряжения и деформации в асфальтобетоне при механическом и температурном воздействии // Труды МАДИ. - М.: МАДИ, 1982. - С. 73-81.
- 34 Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. - Харьков: Высшая школа, 1977. - 116 с.
- 35 Золотарев В.А. Закономерности деформирования и разрушения битумов и асфальтобетонов как основа улучшения и регулирования их свойств: дис. ... док. техн. наук. - М.: ВЗИСИ, 1983. - 268 с.
- 36 Руденский А.В. Дифференцирование требований к прочности и деформативности асфальтобетона для различных условий применения при строительстве покрытий: автореф. ... док. техн. наук. - Томск, 2000. - 28 с.
- 37 Руденский А.В., Гегелия Д.И., Калашникова Т.М., Штромберг А.А. Усталость асфальтобетона в условиях водонасыщения и циклического замораживания-оттаивания // Труды Гипродорнии. - М.: Гипродорнии, 1975. - Вып. 24. - С. 131-137.

38 Judycki J. Drogowe asfalty i mieszanki mineralno-asfaltowe modyfikowane elastomerem. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdanskiej // Budownictwo Ladowe XLV. - Gdanski, 1991.- №452. – S. 254.

39 Pylkkanen K. Water sensitivity of asphalt pavements. Aggregates and Additives // Proceedings of ASTO Conference. Espoo, Finland Saarela A.: The Finnish asphalt pavement research programme ASTO, with emphasis on Nordic conditions. SHRP and Traffic Safety on two continents // International Conference. - Hague, 1993. – P. 254 – 266.

40 Scherocman J.A., Mesch K.A., Proctor J.J. The Effect of Multiplate Freeze-Thaw Cycle Conditioning on the Moisture Damage in Asphalt Concrete Mixtures // Proceedings Association Asphalt Paving Technologists. – 1986. - Vol. 55. - P. 352-372.

41 Sybilski D., Mechowski T. Ocena trwalosci mieszanek mineralno-asfaltowych z roznymi kruszywami // Prace IBDiM. – 1998. - №3-4. - S. 63-107.

42 Valleerga B.A. Introduction to Symposium. Asphalt Deficiencies Related to Asphalt Durability. Symposium - Asphalt Durability: Source and In-Service Effects // Proceedings Association Asphalt Paving Technologists. – 1981. - Vol. 50. - P. 245-261.

43 Богуславский А.М., Богуславский Л.А. Основы реологии асфальтобетона. - М.: Высшая школа, 1972. - 199 с.

44 Богуславский А.М. Напряжения и деформации в асфальтобетоне при механическом и температурном воздействии // Труды МАДИ. - М.: МАДИ, 1982. - С. 73-81.

45 Горельшев Н.В. Физико-химические методы характеристики и структуры дорожно-строительных материалов. – М.: Автотрансиздат, 1961. - 93 с.

46 Горельшев Н.В. Повышение качества асфальтобетона и долговечности дорожных покрытий на его основании // Труды Союздорнии. - М.: Союздорнии, 1975. - Вып. 79. - С. 13-20.

47 Сьюньи Г.К. Горельшев Н.В. Повышение качества асфальтобетона и долговечности дорожных покрытий на его основании // Труды Союздорнии. – М.: Союздорнии, 1975. - Вып. 79. - С. 13-20.

48 Распопов Н.М. Исследование морозоустойчивости асфальтобетона // Труды Дорнии. - М.: Дорнии, 2000. - С. 134 - 156.

49 Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. - Харьков: Высшая школа, 1977. - 116 с.

50 Золотарев В.А. Закономерности деформирования и разрушения битумов и асфальтобетонов как основа улучшения и регулирования их свойств: дис. ... док. техн. наук. - М.: ВЗИСИ, 1983. - 268 с.

51 Руденский А.В. Обеспечение эксплуатационной надежности дорожных асфальтобетонных покрытий. - М.: Транспорт, 1975. - 63 с.

52 Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия. - М.: Транспорт, 1992. - 254 с.

53 Руденский А.В. Дифференцирование требований к прочности и деформативности асфальтобетона для различных условий применения при

- строительстве покрытий: автореф. ... док. техн. наук. - Томск, 2000. - 28 с.
- 54 Judycki J. Wlasciwosci reologiczne betonu asfaltowego w niskich temperaturach // Drogownictwo. – 1976. - №2. - S. 46-51.
- 55 Judycki J., Jaskula P., Dembowski J. Wplyw dodatkow do asfaltu na wlasciwosci mastyksu gryсового (SMA) w niskiej temperaturze // Drogownictwo. – 1996. - №12. - S. 358-360.
- 56 Teltayev B. Regularities of increasing of temperature cracks number in asphalt pavement of highway // Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. - 2015. - №5. - P. 35–57.
- 57 Zavyalov M.A., Kirillov A.M. Evaluation methods of asphalt pavement service life // Magazine of Civil Engineering. - 2015. - №2(54). - P. 70–76.
- 58 Попов А.Н., Кочетков А.В., Масалыкин А.Н. Математическая модель деформирования асфальтобетонного слоя усиления сборного аэродромного покрытия под воздействием температуры // Научный журнал строительства и архитектуры. - 2015. - №2(38). - С. 65–74.
- 59 Shen W., Kirkner D.J. Distributed thermal cracking of AC pavement with frictional constraint // J. Engineering Mechanics. - 1999. - Vol. 125, №5. - P. 554–560.
- 60 Chen G., Baker G. One-dimensional nonlinear model for prediction of crack spacing in concrete pavements // Advances in Structural Engineering. - 2005. - Vol. 8, №6. - P. 595–602.
- 61 Колесников Г.Н., Гаврилов Т.А. Моделирование условий появления низкотемпературных трещин в асфальтобетонном слое автомобильной дороги // Вестник томского государственного университета. Математика и механика. – 2018. - №56. – С. 19-31.
- 62 Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Родин П.В., Фещенко М.А. Исследование трещиностойкости асфальтобетонных покрытий улиц города Брянска и автомобильных дорог Брянской области // Интернет-журнал «Транспортные сооружения» Russian journal of transport engineering. – 2018. - Vol 5, №3. – С. 18-22.
- 63 Wei Si, Ning Li, Biao M.A., Junping R.E.N., Hainian W.A.N.G., Jian H.U. Влияние циклов замораживания-оттаивания на сжатие Характеристики асфальтобетонной смеси в холодных регионах // Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. - 2015. - №1. – P. 26-33.
- 64 Feng D., Yi J., Wang D., Chen L. Impact of Salt and Freeze-thaw Cycles on Performance of Asphalt Mixtures in Coastal Frozen Region of China // Cold Regions Science & Technology. – 2010. - №62(1). – P. 34-41.
- 65 Kettil P., Engström G., Wiberg N.E. Coupled Hydro-mechanical Wave Propagation in Road Structures // Computers & structures. – 2005. - №83(21). – P. 1719-1729.
- 66 Höbeda P. Water Sensitivity of Asphalt Pavements R. - Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), 1998. – Vol. 35. – 250 p.

67 Monismith C.L., Secor G.A., Secor K.E. Temperature induced stresses and deformations in asphalt concrete // J. Assoc. Asphalt Paving Technol. – 1965. - №34. - P. 248–285.

68 Bouldin M., Dongre R., Rowe G., Sharrock M.J. & Anderson D. Predicting thermal cracking of pavements from binder properties theoretical basis and field validation // J. Assoc. Asphalt Paving Technol. – 2000. - №69. - P. 455–488.

69 Teltayev Bagdat, Radovskiy Boris. Predicting thermal cracking of asphalt pavements from bitumen and mix properties. - Road Materials and Pavement Design, 2017. – 148 p.

70 Полимерно-битумные вяжущие: особенности структуры и свойств. Т.С.Худякова, к.т.н. [https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n\\_id=5490](https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=5490).

71 Котляревский А.А., Вовко В.В., Акчурин Т.К. «Повышение долговечности асфальтобетонных покрытий путем использования модифицированных литых асфальтобетонных смесей» Материалы II Всероссийской научно-практической конференции (на базе СФ ВолгГАСУ) 18-19 декабря 2008 года стр. 52-56.

72 Попченко С.Н. Перспективы применения полимерно-битумных материалов в строительстве // Труды СоюздорНИИ. - М., 1971. - Вып. 50. – С. 5-12.

73 Попченко С.Н. О структуре и структурно-механических свойствах полимерно-битумных вяжущих // Труды СоюздорНИИ. - М., 1975. - Вып. 80. – С. 125-130.

74 Золотарев В.А., Ефремов С. В., Чугуенко С.А. Влияние добавок термопласта Элвалой на свойства битума и асфальтобетона // Наука и техника. - 2004. - №1. – С. 19-38.

75 Loizos Andreas. Enrobes modifies antiornierants. Experience cretoise. Rev. gen. routes et aerodr // Применение модифицированного битума в дорожном строительстве. – 2000. - №782. – С. 41-44.

76 Золотарев В.А. Полимербитумные вяжущие и асфальтобетон на основе битумов, модифицированных EVALOY. – Киев: Рекламный проспект фирмы «ЛАКЕТ», 2002. – С. 15-29.

77 Бусел А.В., Минин А.В. Использование пластомеров для модифицирования дорожных битумов // Сб.научных трудов МСД «Научно-технические проблемы дорожной отрасли стран СНГ». - М., 2000. – 200 с.

78 Кабылдин А.К. «Применение адгезионных добавок при ремонте автомобильных дорог методом холодного ресайклинга» База данных: D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University (ОПиМУП).

79 Гохман Л.М. Применение полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве // Дорожная техника и технологии. – 2001. - №5. - С. 67-70.

80 Гохман Л.М. Полимерно-битумные вяжущие с применение дивинилстирольных термопластов // Труды СоюздорНИИ. - М., 1971. - Вып. 50. – С. 13-19.

81 Кабылдин А.К. Применение адгезионных добавок при ремонте автомобильных дорог методом холодного ресайклинга» База данных: D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University (ОПМУП).

82 Каганович Е.В., Измаилова Г.Г. Исследование путей улучшения свойств асфальтобетона с целью повышения качества и долговечности покрытий в условиях Республики Казахстан // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию Казахстанской дорожной науки. – Астана; Алматы, 2004. – 147 с.

83 Каганович Е.В., Карцева И.И., Измаилова Г.Г. Полимерные модификаторы битума и асфальтобетона // Вестник Каздории. - 2004. - №1. – С. 16-20.

84 Попадек С.В. Еще раз о проблеме качества при модифицировании битумов полимерами типа SBS // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. - №5. - С. 9-10.

85 Isacsson U., Zeng H. Low-temperature cracking of polymer-modified asphalt Materials and Structures // Materiaux et Constructions. – 1998. - Vol. 31. - P. 15-63.

86 Isacsson U., Zeng H. Cracking of asphalt at low temperature as related to bitumen rheology // Journal of materials science. – 1998. - №33. – P. 2165-2170.

87 Телтаев Б.Б., Измаилова Г.Г., Амирбаев Е.Д. Низкотемпературные характеристики битумополимерных вяжущих при циклических замораживаниях и оттаиваниях // Вестник ХНАДУ. – 2017. - Вып. 79. – С. 28-32.

88 В. А. Золотарев «Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны» Часть I. «Дорожные битумные вяжущие». Учебник. Харьков ХНАДУ 2014.

88 СТ РК 1373-2013. Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.

89 ГОСТ 33134-2014. Межгосударственный стандарт. «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Определение индекса пенетрации».

90 М. Ж. Журинов, Б. Б. Телтаев, С. О. Росси, Е. Д. Амирбаев, А. О. Ельшибаев. «Стандартные показатели модифицированных битумов» News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences ISSN 2224-5278 Volume 5, Number 443 (2020), 188 – 195.

91 Золоторев В.А. Битум, модифицированные полимерами и добавками // Избранные труды. – Спб., 2013. – Т. 2. – 205 с.

92 СТ РК 2534-2014. «Битум и битумные вяжущие. Битумы нефтяные модифицированные, дорожные. Технические условия».

93 Р РК 218-129-2016. «Альбом рациональных конструкций дорожных одежд с учетом природно-климатических условий и категорий дорог».

94 СТ РК 1218-2003. «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

95 ASTM D6521-08. Standard Practice For Accelerated Aging Of Asphalt Binder Using A Pressurized Aging Vessel (PAV).

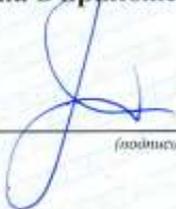
96 AASHTO T 240-08. Standard Method of Test for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test).

97 СТ РК 2534-2014. «Битум и битумные вяжущие. Битумы нефтяные модифицированные, дорожные. Технические условия». Приложение Б.

98 Performance graded asphalt binder specification and testing. Superpave series. – Lexington: Asphalt Institute, 2003. - №1.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Аттестат аккредитации

		КОМИТЕТ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И МЕТРОЛОГИИ МИНИСТЕРСТВА ТОРГОВЛИ И ИНТЕГРАЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР АККРЕДИТАЦИИ		
<b>АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ</b>		
Зарегистрирован в реестре субъектов аккредитации		
№ KZ.T.02.0603 от «8» апреля 2020 года действителен до «8» апреля 2025 года		
<b>Испытательная лаборатория</b>		
<b>Акционерного общества</b>		
<b>«Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт»</b>		
<b>город Алматы, улица Нурпенсова, 2 а</b>		
<small>(наименование, организационно-правовая форма, место нахождения субъекта аккредитации)</small>		
аккредитован(а) в системе аккредитации Республики Казахстан на соответствие требованиям <u>ГОСТ ISO/IEC 17025-2019</u> «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».		
Объекты оценки соответствия: испытание продукции согласно области аккредитации.		
Область аккредитации приведена в приложении.		
Руководитель органа по аккредитации		Г. Мухамбетов
	<small>(подпись)</small>	
		003167

# Вакуумметр деформационный



KZ.K.02.1298



Алматинский филиал АО «Национальный центр экспертизы и сертификации», г. Алматы микрорайон 8, дом 83, тел. 8(727)2379047, факс 8(727)3039097, e-mail [naceksalmfil@mail.ru](mailto:naceksalmfil@mail.ru) аттестат аккредитации №KZ.K.02.1298 от 28.07.2017 г.  
Адрес лаборатории, телефон, факс, эл. почта

## Сертификат калибровки

**ВА-04-01-04765**

Номер сертификата

28 октября 2021г.

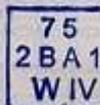
Дата калибровки

Страница 1 из 2

Объект калибровки	Вакуумметр деформационный образцовый
Диапазон измерения	от минус 1 до 0 кгс/см <sup>2</sup>
Производитель, страна	ООО «Манометр», Россия
Тип	ВО
Серийный номер	120236
Заказчик, адрес	АО КазДорНИИ, г. Алматы
Наименование метода / идентификация	МК АФ АО 392049020062.04.212-2016 «Манометры, вакуумметры деформационные эталонные. Методика калибровки»

Место проведения калибровки АФ АО «НаЦЭкС» микрорайон 8, дом 83

Калибровочное клеймо



Дополнительные сведения Соответствует требованиям нормативно-технической документации

Данный сертификат может быть воспроизведен только полностью. Любая публикация или частичное воспроизведение содержания сертификата возможны с письменного разрешения лаборатории, выдавшей сертификат.

Руководитель калибровочной лаборатории

Подпись

Карахожаев Ж.Ш.  
Ф.И.О.

Ответственное лицо, выполнившее калибровку

Подпись

Кушекбаева И.Д.  
Ф.И.О.

# Сертификат калибровки

ВА-04-01-04765

Номер сертификата

28 октября 2021г.

Дата калибровки

Страница 2 из 2

Калибровка выполнена с помощью

Грузопоршневой манометр МВП-2,5 рабочий эталон 2-го разряда  
ДКП:031.ВА.ВА.

Наименование эталонов и их статус / идентификация / доказательство прослеживаемости

Условия калибровки

$t_{окр} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность 66 %,  $P_{атм} = 91,5\text{ кПа}$

Условия окружающей среды и другие влияющие факторы

Результаты калибровки, включая неопределенность

Действительное давление кгс/см <sup>2</sup>	Показания прибора в условных делениях	
	При повышении давления	При понижении давления
-0,1	10,0	10,1
-0,2	20,0	20,1
-0,3	29,9	30,0
-0,4	39,9	39,9
-0,5	49,7	49,8
-0,6	59,6	59,7
-0,7	69,5	69,6
-0,8	79,4	79,6
-0,9	89,4	89,4

расширенная неопределенность 0,23% при  $k=2$ ;  $P=0,95$

Расширенная неопределенность получена путем умножения стандартной неопределенности на коэффициент охвата  $k = 2$ , соответствующего уровню доверия приблизительно равному 95 % при допущении нормального распределения. Оценивание неопределенности проведено в соответствии с ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения – Часть 3: Руководство по выражению неопределенности измерений (GUM:1995)».

Дополнительная информация

рекомендуемый межкалибровочный интервал 1 год

состояние объекта калибровки / регулировка и/или ремонт объекта калибровки до его калибровки  
рекомендуемый межкалибровочный интервал по требованию заказчика

Ответственное лицо, выполнившее калибровку

  
Подпись

Кушекбаев И.Д.  
Ф.И.О.

28 октября 2021г.  
Дата калибровки

# Пресс гидравлический



Алматинский филиал АО "НЦЭКС"  
(наименование государственной метрологической службы или метрологической службы юридического лица)  
Аттестат аккредитации KZ.P.02.0687 от 18.11.2020 г.  
(номер аттестата аккредитации)

 KZ.P.02.0687

**СЕРТИФИКАТ О ПОВЕРКЕ № ВА-03-02-04869**

**Пресс гидравлический**  
наименование средства измерения (эталон)

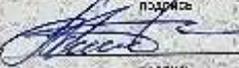
Тип, обозначение: ПСУ-125 заводской № 1875  
(0-50) тс.  
диапазон измерений средства измерения

Изготовитель: ЗИМ. Армавир  
Дата изготовления: 1969 г.  
Пользователь: АО "КазДОРНИИ" г. Алматы  
Поверка проведена в соответствии: ГОСТ 8.136-74  
(обозначение и наименование метода поверки)  
с использованием следующих средств поверки: Динамометр эталонный ДОСМ-3-100 № С 1633  
(обозначение эталона и наименование оборудования, использованного при поверке)

На основании результатов поверки средство измерений (эталон) признано годным и допущено к применению по классу - разряду -  
с учетом неопределенности измерений U=±0,6% при (k=2; P=95%)

Дата поверки " 24 " Ноября 2021 г. Действителен до " 24 " Ноября 2022 г.

Руководитель отдела (лаборатории)  Г.А. Сарсенбин  
подпись инициалы, фамилия

Поверитель  К.С. Бекбай  
подпись инициалы, фамилия

  
СЛ 18 : 0699568  
ДКП: 029.НН.ВА.



KZ.P.02.0687

Алматынский филиал АО "НаЦЭКС"  
(наименование государственного учреждения метрологической службы или метрологической службы координационного центра)  
Аттестат аккредитации KZ.P.02.0687 от 18.11.2020 г.  
(номер аттестата аккредитации)

**СЕРТИФИКАТ О ПОВЕРКЕ № ВА-03-02-04866**

**Пресс гидравлический**

Тип, обозначения: **П-250**

(наименование средства измерений (аттестата))

заводской № **707**

**(0-100) тс; (0-200) тс.**

(диапазон измерений) средства измерения

Изготовитель: **ЗИМ. Армавир**

Дата изготовления: **1976 г.**

Пользователь: **АО "КазДОРНИИ" г. Алматы**

Поверка проведена в соответствии: (наименование и адрес)

**ГОСТ 8.136-74**

(обозначение и наименование метода поверки)

с использованием следующих средств поверки: **Динамометр эталонный ДОСМ-3-200 № С 1604**

**Динамометр эталонный ДОСМ-3-100 № С 1833**

(обозначения эталонов и вспомогательного оборудования, использованного при поверке)

На основании результатов поверки средство измерений (эталон) признано годным и допущено к применению по классу **-** разряду **-**

с учетом неопределенности измерений **U=±0,6% при (k=2; P=95%)**

Дата поверки: **24 "Ноября" 2021 г.** Действителен до: **24 "Ноября" 2022 г.**

Руководитель отдела (лаборатории)

**Г.А. Сарсенбин**

(подпись)

(инициалы, фамилия)

Поверитель

**А.Б. Дюсембаев**

(подпись)

(инициалы, фамилия)



СЛ 18 : 0599042

ДКП: 029.НН.ВА.

# Испытательный пресс ИП-100



**Алматинский филиал АО "НаЦЭКС"**  
(наименование подразделения государственной метрологической службы или метрологической службы юрисдикции)  
Аттестат аккредитации KZ.P.02.0687 от 18.11.2020 г.  
(номер аттестата аккредитации)

 **KZ.P.02.0687**      **СЕРТИФИКАТ О ПОВЕРКЕ №** BA-03-02-04868

**Испытательный пресс**  
(наименование средства измерения (эталоны))

Тип, обозначение: ИП-100      заводской № 1659  
**(0-10) кН; (0-20) кН; (0-50) кН; (0-100) кН**  
(диапазон измерений/диапазон номиналов)

Изготовитель: ЗИМ, Армавир  
Дата изготовления: 1991 г.  
Пользователь: АО "КазДОРНИИ" г. Алматы  
Поверка проведена в соответствии: ГОСТ 8.136-74  
(стандарт на измерение или метод измерения (для поверки))

с использованием следующих средств поверки: Динамометр эталонный ДОСЭ-100И-3 № 337/330  
Динамометр эталонный ДОУ-3-20И № 042338  
(обозначение эталона и его типа или его обозначение, и использованное при поверки)

На основании результатов поверки средство измерения (эталон) признано годным и допущено к применению по классу разряда

с учетом неопределенности измерений:  $U=±0,3\%$  при  $(k=2; P=95\%)$

Дата поверки: 24 "Ноября" 2021 г. Действителен до: 24 "Ноября" 2022 г.

Руководитель отдела (лаборатории)  **Г.А. Сарсенбин**  
подпись      инициалы, фамилия

Поверитель  **А.Б. Дусембаев**  
подпись      инициалы, фамилия

 **0599044**  
**BA 21**

**СЛ 18 : 0599044**  
**ДКП: 029.НН.ВА.**



**ПРИЛОЖЕНИЕ к сертификату № ВА10-01-1386**

Диапазон измерения.....	(15÷120) °C
Предельное отклонение температуры от установленной в рабочей зоне термостата.....	±0,5 °C
Погрешность стабилизации температуры в рабочей зоне .....	±0,5 °C
Погрешность неравномерности распространения температуры в рабочей зоне .....	±0,5 °C
Стандартная неопределенность.....	0,3 °C

*Александр*



# Форма стальная d-71,4мм



Алматинский филиал АО «НаЦЭКС»  
(наименование государственного учреждения метрологической службы метрологического вида)

**СЕРТИФИКАТ**  
об аттестации испытательного  
оборудования № ВА 01-02-14864

Форма ЛО 257 облегченная диаметром 71,4 мм  
(наименование испытательного оборудования)

заводской номер № 3, 8, 9 (3 шт.)  
(наименование предприятия-изготовителя) изготовленное (ую)

ООО «ИСЛ ВНИР»  
(наименование предприятия-изготовителя)

принадлежащее (ую) АО «КазТорНИИ»  
(наименование предприятия)

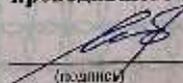
На основании результатов первичной (периодической, внеочередной) аттестации,  
проведенной Алматинским филиалом АО «НаЦЭКС»  
(наименование юридического лица, проводящего аттестацию)

«28» октября 2021 г., установлено, что испытательное оборудование соответствует  
требованиям нормативных документов  
программы аттестации  
и допускается к применению.

Срок действия сертификата «28» октября 2022г.



Руководитель предприятия,  
проводившего аттестацию

  
Исенбулдова Р.С.  
(подпись) (фамилия, инициалы)

Подпись лица, проводившего  
аттестацию

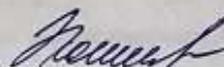
  
Какимова Э.К.  
(подпись) (фамилия, инициалы)

ПРИЛОЖЕНИЕ К СЕРТИФИКАТУ  
об аттестации  
испытательного оборудования №ВА 01-02-14864

Результаты определения действительных значений нормированных точностных характеристик:

Определяемые нормированные метрологические характеристики	Номинальное значение и допуски на параметры измерения	Действительные значения	Расширенная неопределенность $\pm U_p$ при $(k=2; P=95\%)$ , мм
Определение геометрических размеров:	$71,4 \pm 0,2$	71,4	$\pm 0,2$
Диаметр внутренний d, мм	$160,0 \pm 2,0$	160,0	$\pm 1,2$
Высота h, мм	$71,4 - 0,3$	71,2	$\pm 0,2$
Диаметры вкладышей:	$71,4 - 0,3$	71,2	$\pm 0,2$
нижний, мм			
верхний, мм			
Высота вкладышей:	$100,0 \pm 0,1$	100,1	$\pm 0,06$
нижний, мм	$60,0 \pm 0,1$	60,1	$\pm 0,06$
верхний, мм			

Подпись лица, проводившего аттестацию

  
(подпись)

Э.К.Какимова  
(Ф.И.О.)

# Установка «TRAVIS 20-6000»

Konrad



infraTest Prüftechnik GmbH  
Wiesenbachstraße 15  
D-74336 Brackenheim-Bötenheim  
Fon +49 (0) 7135-95 00-0  
Fax + 49 (0) 7135-95 00-20  
info@infatest.net - www.infatest.net



## EC Declaration of Conformity

In accordance with EC Machinery Directive 2006/42/EC, Annex II, part 1, A

We declare herewith that the below-mentioned machine, with regard to its design and construction and to the model we have released onto the market, complies with the basic health and safety requirements as set out in the EC Machinery Directive. This declaration shall become invalid if the machine is used or adapted in any manner whatsoever without our consent.

Manufacturer: **infraTest Prüftechnik GmbH Brackenheim**  
Machine Description: 20-6000 TRAVIS Testing System for Rheological Behaviour of asphalt testing  
Machine No.: 20562M

### Applicable EC Directives:

- EC Machinery Directive (2006/42/EC)
- EC Low Voltage Directive (2006/95/EC)
- EC Directive on Electro-Magnetic Tolerance (2004/108/EC)

### Applied Harmonized Standards

- EN 12100 - Part 1 and 2 Machine Safety
- EN 60 204 - 1 Electrical Equipment for Industrial Machinery

Responsible for the documentation: Dr. J.-M. Nussbaum, phone +49 (0)7135 9500-29.

### Important!

Only those materials as described in the instruction manual may be used for the tests. The machine may only be used by qualified personnel with due regard to the instructions as set out in the instruction manual. Training on the operation of this machinery is available on request.

Brackenheim, 2. Dezember 2011

infraTest  
Prüftechnik GmbH

E. Rennstich  
Service Manager

GP E. Frommel - M. Maiba  
Amtsgericht Strg. HRB Nr. 320285  
USt-IdNr. DE 144995701  
NEEF-Reg.-Nr. DE33025851

Deutsche Bank AG Ludwigslug  
BLZ 804 700 82 - Kto-Nr.: 0 329 334  
IBAN: DE25 6047 0082 0032 9334 00  
BIC (Swift-Code): DEUTDE33HAN

Commerzbank AG Hedlbronn  
BLZ 620 400 65 - Kto-Nr.: 3 184 777  
IBAN: DE07 6204 0060 0318 4777 00  
BIC (Swift-Code): COBADE33HAN

Sparkasse Brackenheim - Lützenh  
BLZ 620 914 20 - Kto-Nr.: 46 222 088  
IBAN: DE25 6209 1400 0046 2220 88  
BIC (Swift-Code): SFBKDE33HAN





**EG – KONFORMITÄTSERKLÄRUNG  
EC - DECLARATION OF CONFORMITY  
CE - DECLARATION DE CONFORMITE**

**Anbieter / Supplier / Fournisseur:** BINDER GmbH  
**Anschrift / Address / Adresse:** Im Mittleren Ösch 5, D-78532 Tuttlingen  
**Produkt / Product / Produit:** Umweltsimulations-Schrank für anspruchsvolle Temperaturprofile mit Programmregelung  
 Environmental simulation chamber for complex temperature profiles with program control  
 Chambre d'essais climatiques pour profils thermiques complexes à régulation programmable  
**Typenbezeichnung / Type / Type:** MK 115, MK 240, MK 720

**Die oben beschriebenen Produkte sind konform mit folgenden EG-Richtlinien:  
The products described above are in conformity with the following EC guidelines:  
Les produits décrits ci-dessus sont conformes aux directives CE suivantes:**

<p>Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG Low voltage directive 2006/95/EC Directive basse tension 2006/95/CE</p>	<p>Richtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen Council Directive 2006/95/EC of 12 December 2006 on the harmonization of the laws of Member States relating to electrical equipment designed for use within certain voltage limits Directive 2006/95/CE du Parlement Européen et du Conseil du 12 décembre 2006 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives au matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension</p>
<p>EMV-Richtlinie 2004/108/EG EMC Directive 2004/108/EC Directive CEM 2004/108/CE</p>	<p>Richtlinie 2004/108/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit und zur Aufhebung der Richtlinie 89/336/EWG. Directive 2004/108/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 98/336/EEC. Directive 2004/108/CE du Parlement Européen et du Conseil du 15 décembre 2004 relative au rapprochement des législations des États membres concernant la compatibilité électromagnétique et abrogeant le directive 98/336/CEE.</p>

**Die oben beschriebenen Produkte tragen entsprechend die Kennzeichnung CE.  
The products described above, corresponding to this, bear the CE-mark.  
Les produits décrits ci-dessus, en correspondance, portent l'indication CE.**

Die oben beschriebenen Produkte sind konform mit folgenden harmonisierten Normen:  
 The products described above are in conformity with the following harmonized standards:  
 Les produits décrits ci-dessus sont conformes aux normes harmonisées suivantes:

**Sicherheit / safety / sécurité:**

EN 61010-1:2001 Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – Teil 1: Allgemeine Anforderungen  
 Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements

Règles de sécurité pour appareils électriques de mesure, de régulation et de laboratoire – Partie 1 : Prescriptions générales

EN 61010-2-010:2003 Sicherheitsbestimmungen für elektrische Meß-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – Teil 2-010: Besondere Anforderungen an Laborgeräte für das Erhitzen von Stoffen

Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 2-010: Particular requirements for laboratory equipment for the heating of materials

Règles de sécurité pour appareils électriques de mesure, de régulation et de laboratoire. Partie 2-010 : Prescriptions particulières pour appareils de laboratoire utilisés pour l'échauffement des matières

**EMV / EMC / CEM:**

EN 61326-1:2006 + Corr. 2008 Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte - EMV-Anforderungen -- Teil 1: Allgemeine Anforderungen  
 Electrical equipment for measurement, control and laboratory use - EMC requirements -- Part 1: General requirements

Matériel électrique de mesure, de commande et de laboratoire - Exigences relatives à la CEM -- Partie 1: Exigences générales

EN 61326-2-2:2006 Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen. Teil 2-2: Besondere Anforderungen - Prüf- und Überwachungsgeräte in Niederspannungsstromversorgungsnetzen.

Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements. Part 2-2: Particular requirements - Test configurations, operational conditions and performance criteria for portable test, measuring and monitoring equipment used in low-voltage distribution systems.

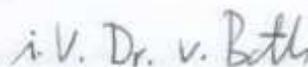
Matériel électrique de mesure, de commande et de laboratoire – Exigences relatives à la CEM. Partie 2-2: Exigences particulières - Configurations d'essai, conditions de fonctionnement et critères d'aptitude à la fonction des matériels portatifs d'essai, de mesure et de surveillance utilisés dans des systèmes de distribution basse tension.

D-78532 Tuttlingen, 28.07.2010

BINDER GmbH



P. M. Binder  
 Geschäftsführender Gesellschafter  
 Managing Director  
 Directeur général



Dr. H. von Both  
 Leiter F & E  
 Director R & D  
 Chef de service R&D

## Declaration of Conformity

We herewith confirm, that

**20-6000 TRAVIS Testing System for Rheological Behaviour of asphalt**

**Serial No. 2056211**

has been designed acc. the requirements of

EN 12697-46  
TP Asphalt-StB P. 46

The operation of the machine is under the responsibility of the user and he has to take care that all relevant standards have been considered during the whole use and process.

Brackenheim, 02 December 2011

**infraTest Prüftechnik GmbH**

  
Fromme Prüftechnik GmbH  
Wiesenbachstraße 15  
74336 Brackenheim-Bozenheim  
Managing Director

GP E. Fromme | M. Meißner  
Amtsgericht Stuttgart | HRB Nr. 320385  
USt-Id.Nr.: DE 144895701  
WÜSt-Reg.-Nr.: DE33225651

Deutsche Bank AG Ludwigshafen  
BLZ 604 700 52 | Kto-Nr. 0 329 334  
IBAN: DE21 6047 0062 0032 9334 00  
BIC (Swift-Code): DEUTDE33HAN

Commerzbank AG Heidelberg  
BLZ 620 400 62 | Kto-Nr. 3 184 777  
IBAN: DE07 6204 0060 0015 4777 00  
BIC (Swift-Code): COBAGE33

Volksbank Brackenheim-Güdingen  
BLZ 620 914 00 | Kto-Nr. 49 222 006  
IBAN: DE50 6209 1400 0046 2220 00  
BIC (Swift-Code): GENODE33HAN



## QUALITY CERTIFICATE

We herewith confirm, that

**20-6000 TRAVIS Testing System for Rheological Behaviour  
of asphalt**

**Serial No. 2056211**

has been designed acc. the requirements of

EN 12697-46  
TP Asphalt-StB P. 46

The operation of the machine is under the responsibility of the user and he has to take care that all relevant standards have been considered during the whole use and process.

*Brackenheim, 02 December 2011*

**infraTest Prüftechnik GmbH**

  
**Frommel**  
GmbH  
Wiesenbachstraße 15  
Brackenheim-Bottenheim  
**Managing Director**

GF: E. Frommel, M. Matus  
Amtsgericht Stg., HRB Nr. 320386  
USt-IdNr.: DE 144995701  
WEEE-Reg.-Nr.: DE33225851

Deutsche Bank AG Ludwigshafen  
BLZ 604 700 60 · Kto-Nr. 0 329 334  
IBAN DE25 6047 0062 0032 0334 00  
BIC (Swift-Code): DEU123330304

Commerzbank AG Heilbronn  
BLZ 620 400 60 · Kto-Nr. 3 184 777  
IBAN DE37 6204 0060 0318 4777 00  
BIC (Swift-Code): COBADE33

Sparkasse Brackenheim-Güdingen  
BLZ 620 914 00 · Kto-Nr. 40 000 000  
IBAN DE95 6205 1400 0040 0000 00  
BIC (Swift-Code): SPKO2333





# Certificate

The M-Zert Zertifizierungsgesellschaft für Managementsysteme mbH  
hereby confirms that the company



**infraTest Prüftechnik GmbH**  
**Wiesenbachstr. 15**  
**D-74336 Brackenheim-Botenheim**

has introduced and applies a Quality Management System  
for the area of application of

**development, production, sales and service  
of testing equipment for building materials applications**

In the course of a quality audit carried out by M-Zert, proof was provided that this  
Quality Management System meets the requirements of the following standard:

**ISO 9001:2008**  
**Quality management systems**  
**Requirements**

This certificate is valid until **April, 26<sup>th</sup> 2014**

Certificate no. **02012** Heidelberg, **May, 11<sup>th</sup> 2011**

Company holds certification since December, 9<sup>th</sup> 1996



Head of Certification Body  
Gerhard Lehnert

M-Zert Zertifizierungsgesellschaft für Managementsysteme mbH  
Waldhofer Straße 6 D - 69123 Heidelberg



# Certificate

The M-Zert Zertifizierungsgesellschaft für Managementsysteme mbH  
hereby confirms that the company



**infraTest Prüftechnik GmbH**  
**Wiesenbachstr. 15**  
**D-74336 Brackenheim-Botenheim**

has introduced and applies a Quality Management System  
for the area of application of  
**development, production, sales and service  
of testing equipment for building materials applications**

In the course of an environmental audit carried out by M-Zert,  
proof was provided that this environmental management system  
meets the requirements of the following standard:

**ISO 14001:2004**  
**Environmental management systems**  
**Requirements with guidance for use**

This certificate is valid until **April, 26<sup>th</sup> 2012**

Certificate no. **UM 09004**

**Heidelberg, May, 11<sup>th</sup> 2011**



Head of Certification Body  
Gerhard Lehnert

M-Zert Zertifizierungsgesellschaft für Managementsysteme mbH  
Waldhofer Straße 6 D - 69123 Heidelberg

## CERTIFICATE OF QUALITY TO WHOM IT MAY CONCERN

Pos.1	1 Pc	20-6000	TRAVIS Testing System
Pos.2	1 Pc	20-6050	Test Chamber Extension 450 l
Pos.3	1 Pc	20-6010	Relaxation Test 7.3
Pos.4	1 Pc	20-6020	Retardation Test 7.4
Pos.5	1 Pc	20-8030	Specimen Mounting Device
Pos.6	1 Pc	20-0160	Laboratory Mixer 30 l
Pos.7	1 Pc	20-0162	Additional installation for 20-0160

*We herewith confirm, that the mentioned goods have been manufactured in our regular standard according.*

Brackenheim, 15.11.2011

E. Frommel  
 Managing Director

infraTest  
 Pröftechnik GmbH

SP-E-Formel | M. Mayntz  
 Amtsgericht Ilgert | HRB Nr. 320385  
 USt-IdNr.: DE 144995701  
 WEEE-Reg.-Nr. DE33225881

Deutsche Bank AG Ludwigshafen  
 BLZ 604 700 00 | Kto-Nr. 9 329 334  
 IBAN DE25 6047 0082 0032 9034 00  
 BIC (Swift-Code) DEUTDE33HAN

Commerzbank AG Frankfurt  
 BLZ 620 100 00 | Kto-Nr. 9 154 777  
 IBAN DE07 6204 0080 0310 4777 00  
 BIC (Swift-Code) COBADE33HAN

Volkbank Brackenheim-Günzger  
 BLZ 620 914 00 | Kto-Nr. 45 222 026  
 IBAN DE56 6209 1400 0046 2220 06  
 BIC (Swift-Code) GENODE33HAN



## Роллерный компактор (секторный уплотнитель)



### DECLARATION OF CONFORMITY (2010)

We hereby certify that the machine stipulated below complies with all the relevant provisions of the 93/68/EEC - CE Marking Directive and the National Laws and Regulations adopting this Directive. Modifications to the machine without the prior approval from the undersigned will render this declaration null and void.

**Machine Description:** Steel Roller Compactor small device

**Product Range:** CRT-RC2S

**Serial Number:** CRT-RC2S-1047-01

**Manufacturer Address:**

Cooper Research Technology  
Unit 1  
Albert Court  
Peasehill Road  
Ripley, Derbyshire  
DE5 3AQ, United Kingdom

**Is in Conformity with the Provisions of the following other EEC Directives**

89/336/EC - Electromagnetic Compatibility Directive

73/23/EEC - Low Voltage Directive

**Harmonized Standards Applied**

BS EN ISO 12100-1:2003 Safety of Machinery – Basic concepts, General principles for design, Part 1&2

BS EN ISO 12100-2:2003

BS EN 60204:1998 Safety of Machinery – Electrical Equipment

Signed:  .....

**Name:** Andrew Cooper

**Position:** Managing Director

**Date:** ...01.02.2011.....



Unit 1, Albert Court, Peasehill Road,  
Ripley, Derbyshire, DE5 3AQ,  
United Kingdom, +44 1773 512174  
VAT Number GB 558445608  
Company Registration Number 2435868

## Quality Certificate

We Cooper Research Technology Limited (CRT), are global leaders in delivering testing equipment for laboratories. Over the years, our reputation has been built on the quality of our products and services.

We are committed to providing safe, effective quality products and services by:

- Reaching agreement on requirements with our customers
- Meeting those requirements and their needs and
- Implementing continuous improvement

Our Quality Policy is to establish and work to processes which ensure that we understand our customer's needs and expectations, together with relevant standard applicable at the time of manufacture. We then design, produce, deliver and support products and services that consistently satisfy those requirements. Our Quality Policy aims to provide our customers with the confidence that our equipment is of a quality to maintain that compliance through a reasonable working life.

Through the adoption of this system of procedures we seek to demonstrate the competence of CRT to our existing and potential customers.

Continuous improvement is essential to establish and maintain our position on quality. On this basis, we aim to go beyond customer satisfaction to service customers in true partnership in quality.

The following equipment was built regarding these standards:

CRT-2035-1047-01  
01-02-11



Andrew Cooper  
Managing Director

# Колесобразование



## DECLARATION OF CONFORMITY (2010)

We hereby certify that the machine stipulated below complies with all the relevant provisions of the 93/68/EEC - CE Marking Directive and the National Laws and Regulations adopting this Directive. Modifications to the machine without the prior approval from the undersigned will render this declaration null and void.

**Machine Description:** Wheel Tracker small device 1 arm

**Product Range:** CRT-WTEN1

**Serial Number:** CRT-WTEN1-1047-01

**Manufacturer Address:**

Cooper Research Technology  
Unit 1  
Albert Court  
Peasehill Road  
Ripley, Derbyshire  
DE5 3AQ, United Kingdom

**Is in Conformity with the Provisions of the following other EEC Directives**

89/336/EC - Electromagnetic Compatibility Directive

73/23/EEC - Low Voltage Directive

**Harmonized Standards Applied**

BS EN ISO 12100-1:2003 Safety of Machinery – Basic concepts, General principles for design, Part 1&2

BS EN ISO 12100-2:2003

BS EN 60204:1998 Safety of Machinery – Electrical Equipment

Signed:  .....

**Name:** Andrew Cooper

**Position:** Managing Director

**Date:** ...01.02.2011.....



Unit 1, Albert Court, Peasehill Road,  
Ripley, Derbyshire, DE5 3AQ,  
United Kingdom, +44 1773 512174  
VAT Number GB 558445608  
Company Registration Number 2435868



# CERTIFICATE OF CALIBRATION

ISSUED BY COOPER RESEARCH TECHNOLOGY LIMITED



APPROVED SIGNATORIES

C KOHUT      A B COOPER

Certificate Number: CRT/11/1256

Certificate Template: CC19.10

Issued to: OPTROMKOMPLEKT  
Leninski Pr.D110  
Korpus 1, Lit 1, POM 53-H  
Saint Petersburg  
RUSSIA

Date of Issue: 31 Jan 2011

Equipment Description: CRT-WTEN1 Wheel tracker manufactured by Cooper Research Technology Ltd.  
Serial Number: CRT-WTEN1-1047-01  
Equipment Condition: NEW

Calibration Location: COOPER TECHNOLOGY, RIPLEY  
Date of Calibration: 29 Jan 2011  
Basis of Calibration: EN 12697-22:2003  
Calibrator: P HARRISON  
Ambient Temperature\*: 15 °C

\*Standard Calibration Temperature Limits: (20 ± 5) °C

EN 12697-22:2003 SUMMARY:  
Summary of calibrations (refer to results for details):

Measurement	Procedure	Instrument S/N	Units	Ref. Value/Range	Error <sup>1,2</sup>		Uncertainty	Limits
					As Found	Adjusted		
Displacement	CWC1	WT-1	mm	-20 to 20	—	0.010	±0.055	±0.200
Vertical play in wheel bearings	CWV2	—	mm	0.000	0.070	—	±0.015	+0.250
Vertical play in lever arm pivot	CWV3	—	mm	0.000	0.100	—	±0.015	+0.250
Vertical movement at opposite corners of carriage	CWV4	—	mm	0.000	0.070	—	±0.015	+0.250
Wheel diameter	CWV5	—	mm	202.5	0.5	—	±1.0	±2.5
Wheel tyre width	CWV6	—	mm	50.00	0.50	—	±0.30	±1.00
Wheel tyre thickness	CWV7	—	mm	20.00	0.59	—	±0.50	±2.00
Tyre rubber hardness	CWV8	—	IRHD	80.0	1.0	—	±2.4	±5.0
Wheel load	CWV9	—	N	700.00	1.40	—	±2.80	±10.00
Carriage travel	CWV10A	—	mm	230.0	0.0	—	±1.1	±10.0
Centre of travel distance	CWV10B	—	mm	0.0	0.5	—	±5.0	±10.0
Rotation frequency	CWV11	—	rpm	26.50	0.07	—	±0.10	±1.00

+44 (0) 1773 512 124  
+44 (0) 1773 512 125  
calibration@cooper.co.uk  
www.cooper.co.uk

Cooper Research Technology Limited

Page 1 of 3

## Реометр с изгибающей балкой «BBR»



System Overview  
Safety  
Setup & Installation  
Operation  
Maintenance



Bending Beam Rheometer

## SECTION 1. SYSTEM OVERVIEW

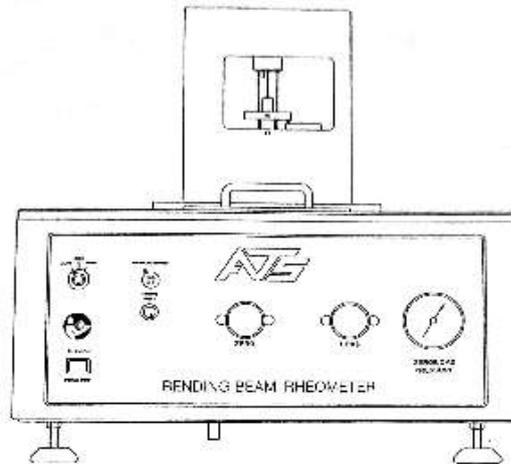


Figure 1. BBR Base Unit and Load Frame

### B. Specifications

#### 1. Base Unit

Power Requirements	120 VAC, 60Hz or 230 VAC, 50 Hz
Coolant Capacity	2 gallons (7.57 liters)
Air Pressure Requirement	60 psi inlet pressure (414 kPa)

#### 2. Computer System

The computer system must meet the following minimum specifications:

Operating System	Windows® 95, 98, ME, NT 4.0, 2000, XP
Memory (RAM)	64 Megabytes for Windows® 95, 98, ME 128 Megabytes for Windows® NT 4.0, 2000, XP
Hard Disk	15 Megabytes free space
Floppy Disk Drive	3.5" disk for BBR software installation
Processor	Intel Celeron® 500 MHz or better
Display	Video Graphics Array (VGA)
CD-ROM Drive	Required for software installation
PCI Slot	Required for add-on card

# Malvern Instruments Ltd - Bohlin Service Report

Customer Name: Rainhart Company  
Software Serial Number: 08/BSW-100-140/65057/7019512  
Default Language: English

Customer Tag: 0000 Country USA Engineer GLENN MASON-WENW

P/O No. \_\_\_\_\_ J/C No. 7019512  
New software issue  Upgrade existing software  Calibration

## Active Software Settings

### BSW-130-010: Viscometry Test

BSW-130-020: Controlled Stress  
BSW-130-040: Yield Analysis  
BSW-130-060: Ramp and hold test  
BSW-130-070: Ramp profile test  
BSW-130-090: Reverse Rotation  
BSW-130-100: Extended single shear  
BSW-130-150: Extended table of shears

### BSW-140-010: Oscillation Test

BSW-140-020: SHRP & Grade Analysis  
BSW-140-040: SHRP Linearity Analysis  
BSW-140-050: Strain Sweep  
BSW-140-080: Extended Single Frequency  
BSW-140-130: Extended Table Of Frequencies  
BSW-140-140: User defined points and periods

### Temperature Options

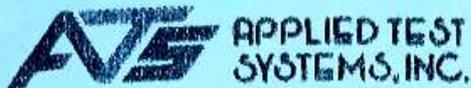
BSW-180-010: Ramp and Hold  
BSW-180-020: Profile

### Jobstream / Script Options

BSW-190-010: Post Test Analysys

### Data Processing Options

BSW-200-020: Point Selection From Graph  
BSW-200-030: Thixotropic (Area) Analysis  
BSW-200-070: Peak and Valley  
BSW-200-080: Smoothing  
BSW-210-010: Export - User Defined  
BSW-210-020: Export To Origin  
BSW-210-040: Export To Iris



348 New Castle Road, Butler PA 16001  
Phone: 724-283-1212  
Main Fax 724-283-8570

## WARRANTY POLICY

Applied Test Systems, Inc. warrants equipment of its own manufacture against defects in material and workmanship for a period of one (1) year from date of shipment.

ATS's obligation under this warranty is expressly limited to the repairing or replacing its factory, or at any authorized repair station, equipment returned, provided -

- a) ATS is promptly notified in writing by the Buyer upon his discovery of the defect.
- b) Upon receipt of written authorization from ATS, said defective equipment is returned as directed, with transportation charges prepaid by the buyer and -
- c) ATS's examination of such equipment discloses to its satisfaction that the defect exists and was not caused by negligence, misuse, improper installation, accident, or unauthorized repair or alteration by the buyer.

Warranties for standard products as manufactured by our suppliers of re-factories and insulation will be extended when available, otherwise warranties for these products cannot be offered. This warranty does not cover limited life mechanical parts failing from normal usage, nor does it cover limited life electrical components, which deteriorate with age such as tubes, lamps, fuses, heaters, etc. Applied Test Systems reserves the right to change published specifications.

This warranty is in lieu of all other warranties, expressed or implied including the implied warranty of fitness for particular purpose, whether to the original purchaser, or for any other reason. ATS shall not be liable for collateral or consequential damages.

The aforementioned provisions do not extend the original warranty period of any article, which has been either repaired or replaced by Applied Test Systems, Inc.

11/4/05

**FOURTH EDITION, DECEMBER 2004**

Information in this document is subject to change without notice and does not represent a commitment on the part of Applied Test Systems, Inc. The software described in this document is furnished under a license agreement or nondisclosure agreement. The software may be used or copied only in accordance with the terms of the agreement. It is against the law to copy the software on any medium except as specifically allowed in the license or nondisclosure agreement.

Comments or suggestions pertaining to the contents of this manual can be sent to the address below:

Editor/Technical Manuals  
**Applied Test Systems, Inc.**  
348 New Castle Road  
Butler, PA 16001-2498.

Information you supply may be used by ATS without obligation. Necessary changes will be made in future editions of this manual.

© Copyright Applied Test Systems 2004

Windows and Excel are registered trademarks of the Microsoft Corporation

For assistance with set-up or operation, contact ATS Field Services. Please have this manual and product serial number available when you call.

Telephone: (724) 283-1212 – FAX (724) 283-6570

ATS 62000 12/2004

# Лопатная лабораторная Мешалка



infraTest Prüftechnik GmbH  
Wiesenbachstraße 15  
D-74398 Brackenheim-Botenheim  
Fon: +49 (0) 7145 95 06-0  
Fax: +49 (0) 7145 95 00-20  
info@infatest.net www.infatest.net

## Translation of the original operating instructions

### 20-0160 Bituminous Laboratory Mixer 30 Liter

infraTest Prüftechnik GmbH  
Wiesenbachstraße 15  
74398 Brackenheim-Botenheim

## TABLE OF CONTENTS

1. INTENDED USE
2. TECHNICAL DATA, SETTING UP AND CONNECTION
3. DESCRIPTION OF THE MACHINE AND THE MACHINE FUNCTIONS
4. SAFETY INSTRUCTIONS
5. DESCRIPTION OF THE PROTECTIVE EQUIPMENT
6. START-UP AND CONDUCTING THE TEST
7. MAINTENANCE
8. EMISSIONS DATA
9. PRECAUTIONARY MEASURES BY THE OPERATOR
10. ANNEXES: *CIRCUIT DIAGRAM X000125.101 TO X000125.106*

page 2 of 27

G.F.E. Formel - M. Minus  
Kontoplenz Str. 1196 Nr. 320385  
US-Nbr.: DE 144895701  
KEFE Reg.-Nr.: DE32226801

Deutsche Bank AG Ludwigslund  
BLZ 604 700 82 - Kto-Nr.: 0 329 334  
IBAN: DE25 6047 0082 0032 9334 00  
BIC (Swift-Code): DEUTDE3304

Commerzbank AG Heilbronn  
BLZ 620 400 60 - Kto-Nr.: 3 184 777  
IBAN: DE07 6204 0060 0315 4777 00  
BIC (Swift-Code): COBADE33

Volksbank Brackenheim-Güglingen  
BLZ 820 914 00 - Kto-Nr.: 46 222 006  
IBAN: DE36 8209 1400 0046 2220 06  
BIC (Swift-Code): GENODE3315BR



## EC Declaration of Conformity

In accordance with EC Machinery Directive 2006/42/EC, Annex II, part 1, A

We declare herewith that the below-mentioned machine, with regard to its design and construction and to the model we have released onto the market, complies with the basic health and safety requirements as set out in the EC Machinery Directive. This declaration shall become invalid if the machine is used or adapted in any manner whatsoever without our consent.

Manufacturer: **infraTest Prüftechnik GmbH, Brackenheim**

Machine Description: 20-0160 Bituminous Laboratory Mixer 30 Liter

Machine No.:

2045211

### Applicable EC Directives:

- EC Machinery Directive (2006/42/EC)
- EC Low Voltage Directive (2006/95/EC)
- EC Directive on Electro-Magnetic Tolerance (2004/108/EC)

### Applied Harmonized Standards

- EN 12100 - Part 1 and 2 Machine Safety
- EN 60 204 - 1 Electrical Equipment for Industrial Machinery

Responsible for the documentation: Dr. J.-M. Nussbaum, phone +49 (0)7135 9500-29.

### Important!

Only those materials as described in the instruction manual may be used for the tests. The machine may only be used by qualified personnel with due regard to the instructions as set out in the instruction manual. Training on the operation of this machinery is available on request.

Brackenheim, 06.10.2011

**infraTest**  
Prüftechnik GmbH

E. Rennstich  
Service Manager

GP-E-Frommel, M. Maritz  
Amisgericht Stgt. - HRB Nr. 320395  
USt-IdNr.: DE 14995701  
WERE-Reg.-Nr.: DE38225851

Deutsche Bank AG Ludwigsburg  
BLZ 624 700 52 Kto-Nr.: 0 329 334  
IBAN: DE25 0047 0082 0032 9334 00  
BIC (Swift-Code): DEUTDE33HAN

Commerzbank AG Heidelberg  
BLZ 620 400 60 Kto-Nr.: 3 584 777  
IBAN: DE07 6204 0060 0318 4777 00  
BIC (Swift-Code): COMBDE33

Vollbank Brackenheim-Güglingen  
BLZ 620 914 00 Kto-Nr.: 46 222 016  
IBAN: DE56 6209 1400 0046 2220 06  
BIC (Swift-Code): GENODE33HAN

