

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь
Департамент «Белавтодор»
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ДОЧЕРНЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«БЕЛОРУССКИЙ ДОРОЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ «БЕЛДОРНИИ»
(ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «БЕЛДОРНИИ»)

УТВЕРЖДАЮ
Директор Государственного
предприятия «БелдорНИИ»,
канд. техн. наук



В.К. Шумчик

10 октября 2012 г.

ОТЧЕТ
«ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
СТАБИЛИЗАТОРА «АНТ» ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛОГО
РЕГЕНЕРИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА»

(Договор № 465-2012)

Первый заместитель директора
Государственного предприятия «БелдорНИИ»,
канд. техн. наук,

С.В. Богданович

Начальник дорожного управления

Н.В. Рад'ков

Минск 2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ


Заместитель начальника дорожного
управления – начальник лаборатории
асфальтобетона и дорожных технологий


Д.Г. Игошкин

Заместитель начальника лаборатории
асфальтобетона и дорожных технологий


С. А. Тимофеев

Инженер лаборатории
асфальтобетона и дорожных технологий


Д. В. Кошелев

СОДЕРЖАНИЕ

1 Подбор оптимального состава асфальтобетона типа Б. Искусственное старение асфальтобетонной смеси	4
2 Определение физико-механических свойств асфальтобетона, приготовленного из регенерированной горячей асфальтобетонной смеси по традиционной технологии	8
3 Определение оптимальной температуры уплотнения теплой регенерированной асфальтобетонной смеси, содержащей стабилизатор «ANT», с использованием установки гираторного типа	10
4 Приготовление теплой регенерированной асфальтобетонной смеси, содержащей стабилизатор «ANT». Определение физико-механических свойств регенерированного асфальтобетона, приготовленного по новой технологии.	13
5 Определение прогнозируемого срока службы исходного асфальтобетона, асфальтобетона из горячей регенерированной асфальтобетонной смеси, приготовленной по традиционной технологии, асфальтобетона из теплой регенерированной асфальтобетонной смеси, содержащей стабилизатор «ANT», приготовленной по новой технологии. Расчет экономической эффективности применения стабилизатора «ANT» в регенерированной смеси из асфальтогранулята, приготовленной по новой технологии	18
Заключение	35



1 Подбор оптимального состава асфальтобетона типа Б.

Искусственное старение асфальтобетонной смеси

Проблема энерго- и ресурсосбережения чрезвычайно актуальна для дорожной отрасли. Как показывает мировой опыт, наиболее перспективны технологии, направленные на повторное использование основного дорожно-строительного материала – асфальтобетона.

Объем получаемого асфальтогранулята ежегодно увеличивается, но технологии его вторичного использования при устройстве асфальтобетонных покрытий не нашли широкого применения в Республике Беларусь в силу имеющихся недостатков.

В ходе выполнения работ по теме был подобран оптимальный состав асфальтобетона ЩМБг-I/2.55 СТБ1033-2004, представленный в таблице 1.

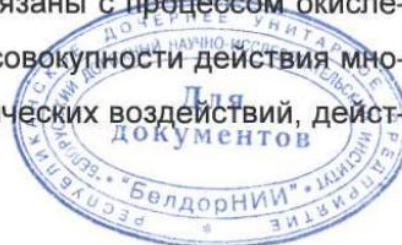
Таблица 1 – Оптимальный состав асфальтобетона типа ЩМБг-I/2.55 СТБ1033-2004

Наименование материала	Дозировка, %
Щебень фракции 5-10 мм	45
Гранитный отсев	47
Минеральный порошок	8
Битум 70/100, сверх минеральной части	5,7

Результаты определения физико-механических свойств образцов, изготовленных из асфальтобетонной смеси ЩМБг-I/2.55 СТБ1033-2004 согласно методике, изложенной в СТБ 1115 для горячих асфальтобетонных смесей, представлены в таблице 2 и таблице 7, зерновой состав минеральной части приведен на рисунке 1.

Асфальтобетон в процессе работы в дорожных покрытиях подвергается воздействию комплекса атмосферных факторов и во времени изменяет свои свойства. Одной из причин разрушения асфальтобетонных покрытий является старение битума, входящего в состав материала, что связано с потерей им вязкопластических свойств, что обуславливается испарением масел, входящих в состав битумов. Интенсивность этого процесса зависит от температуры кипения масел, величины поверхности испарения и упругости паров, насыщающих пространство.

Вторым важным фактором старения органических вяжущих в асфальтобетоне является химическое изменение компонентов битума с образованием новых высокомолекулярных органических соединений. Эти изменения связаны с процессом окисления. Интенсивность этого процесса зависит от величины и совокупности действия многих факторов: воздействия тепла, солнечного света, механических воздействий, дейст-

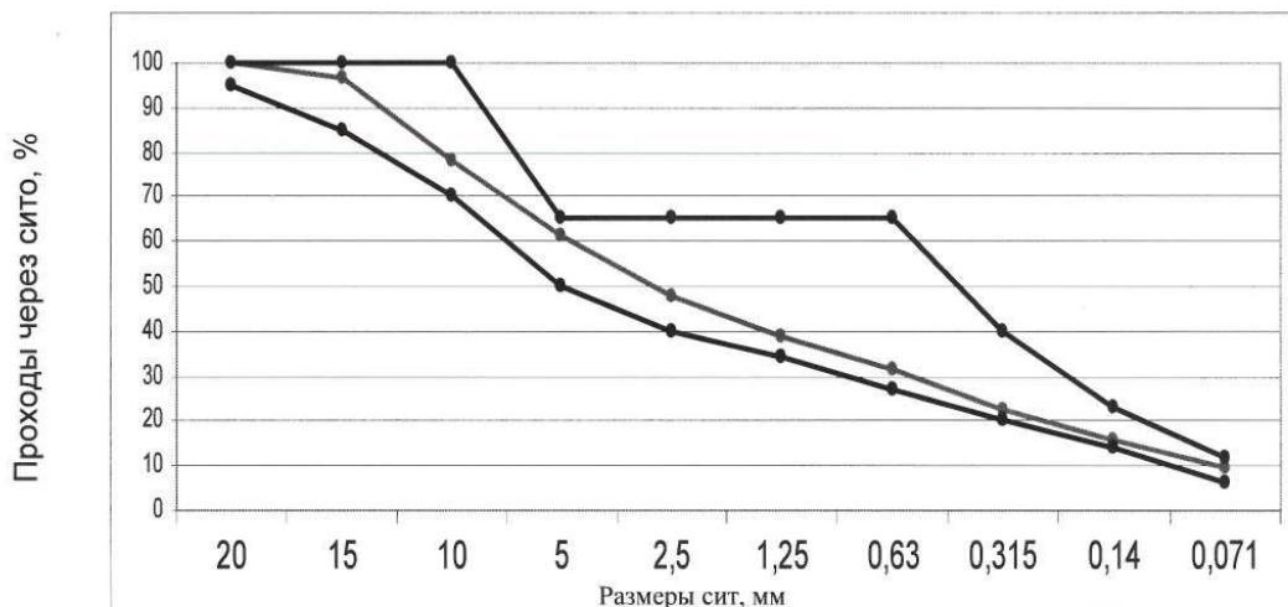


вия солей металлов переменной валентности (железа, меди, марганца...) и др.

Таблица 2 - Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси типа ЩМБг I/2,55

Наименование показателей	Фактическое значение	Требования СТБ 1033
1. Средняя плотность (объемная масса), г/см ³	2,49	-
2. Пористость минерального остова, % по объему	15	13-18
3. Водонасыщение, % по объему	2,0	1-4
4. Набухание, % по объему	0	Не более 0,5
5. Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	2,11	Не менее 1,1
6. Предел прочности при сдвиге при температуре 50°С, МПа	2,62	Не менее 2,55
7. Предел прочности при растяжении при температуре 0°С, МПа	3,42	2,0-3,5
8. Коэффициент морозостойкости после 50 циклов замораживания оттаивания.	0,74	Не менее 0,70
9. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в агрессивной среде после 28 суток	0,80	Не менее 0,75

Примечание: температура разогрева смеси составляет 160° С, температура уплотнения образцов – 150-160° С.



— Требования СТБ1033 для асфальтобетона типа Б — Фактическое значение

Рисунок 1 - Зерновой состав минеральной части асфальтобетона типа ЩМБг I/2,55



При старении асфальтобетона в слое дорожного покрытия под воздействием кислорода воздуха, температурных условий и воды ярко проявляется четыре основных стадии этого процесса: упрочнение структуры, ее стабилизация, начало развития деструкционных процессов и разрушение.

В процессе приготовления, хранения в накопительном бункере и транспортирования асфальтобетонной смеси, битум в виде тонких пленок на поверхности минерального материала находится при высоких температурах. Это создает благоприятные условия для интенсивного протекания в нем термоокислительных и других процессов, приводящих к старению битума. В тонких пленках при высокой температуре процессы старения протекают настолько интенсивно, что практически через каждый час качество битума изменяется, переходит в другую марку, с более высокой вязкостью. Повышение температуры и увеличение времени выдерживания смеси при этой температуре ускоряют старение битумов. В этих условиях помимо толщины битумной пленки большую роль играет степень ее структурированности минеральным порошком. В смесях для асфальтобетонов с меньшей остаточной пористостью старение битума происходит медленнее, чем в смесях для более пористых асфальтобетонов. Независимо от состава смеси и качества, процессы старения битума в пленках резко интенсифицируются при температурах 160 °С и выше.

Для получения асфальтогранулята, по свойствам максимально близкого к натуральному, полученному при фрезеровании старого покрытия автомобильной дороги, применялась следующая методика.

Изготавливалась асфальтобетонная смесь типа ЩМБг-1/2,55. Производилось ее старение: смесь укладывалась ровным слоем толщиной 2 сантиметра, без уплотнения, на металлический противень, после чего выдерживался в сушильном шкафу при температуре 160⁰ С в течение 12 часов. В соответствии с методикой, приведенной в ДМД 02191.9.003-2006 «Рекомендации по замедлению процессов старения асфальтобетона», прогревание асфальтобетона в течении 12 часов при температуре 160⁰ С соответствует старению асфальтобетона в естественных условия при эксплуатации в течении 10 лет. Изготавливались стандартные образцы. Температура разогрева для изготовления образцов составляла 160⁰ С, температура уплотнения образцов – 150-160⁰ С. Также для определения предела прочности и относительной деформации при трехточечном изгибе изготавливались образцы-балочки.

Результаты определения физико-механических свойств образцов из состаренного асфальтобетона типа ЩМБг-1/2,55 представлены в таблицах 3 и 7.



Таблица 3 – Физико-механические свойства состаренного асфальтобетона типа ЩМБг-I/2,55

Наименование показателей	Фактическое значение	Требования СТБ 1033 для асфальтобетона ЩМБг-I/2,55
1. Средняя плотность (объемная масса), г/см ³	2,53	-
2. Пористость минерального остова, % по объему	15	13-18
3. Водонасыщение, % по объему	1,2	1-4
4. Набухание, % по объему	0	Не более 0,5
5. Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	4,44	Не менее 1,1
6. Предел прочности при сдвиге при температуре 50°С, МПа	4,55	Не менее 2,55
7. Предел прочности при растяжении при температуре 0°С, МПа	3,48	2,0-3,5
8. Коэффициент морозостойкости после 50 циклов замораживания оттаивания.	0,63	Не менее 0,70
9. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в агрессивной среде после 28 суток	0,88	Не менее 0,75

Примечание: температура разогрева смеси составляет 160⁰ С, температура уплотнения образцов – 150-160⁰ С.

Несмотря на значительный рост прочностных свойств, в образцах асфальтобетона из состаренной асфальтобетонной смеси наблюдается значительное снижение усталостной долговечности и коррозионной стойкости, что является следствием изменения группового состава битума - испарением масел, придающим битуму эластичность.



2 Определение физико-механических свойств асфальтобетона, приготовленного из регенерированной горячей асфальтобетонной смеси по традиционной технологии

Существующие в Республике технологии предусматривают два основных пути регенерации асфальтобетона. Первый – «холодный» – предполагает использование битумных эмульсий или вспененных битумов. «Холодный» метод отличается низкими энергозатратами, но не позволяет добиться высоких прочностных свойств готовой продукции. Как правило, эта технология применяется при устройстве нижних слоев или на дорогах низких категорий.

Вторая технология – «горячая» – предполагает использование асфальтогранулята как компонента традиционных горячих асфальтобетонных смесей. Высокие температурные режимы, предусмотренные данной технологией, ограничивают объем асфальтогранулята в смеси – 20%. Увеличение содержания асфальтогранулята в смеси приводит к резкому «старению» асфальтобетона и снижению срока службы покрытия.

В ходе работ по теме были изготовлены образцы из регенерированного асфальтобетона по традиционной, «горячей» технологии, с содержанием 20 % состаренного асфальтобетона типа ЩМБг-I/2.55 и 80 % асфальтобетона, состав которого приведен в таблице 1.

Изготовление регенерированного асфальтобетона производилось следующим образом: после перемешивания асфальтобетона типа Б в него добавлялся асфальтогранулят из состаренного асфальтобетона, смесь доводилась до рабочей температуры в 160⁰ С и тщательно перемешивалась. Температура уплотнения образцов составляла 150-160⁰ С. Результаты определения физико-механических свойств регенерированного асфальтобетона по традиционной технологии представлены в таблицах 4 и 7.



Таблица 4 – Физико-механические свойства регенерированного асфальтобетона по традиционной «горячей» технологии

Наименование показателей	Фактическое значение	Требования СТБ 1033 для асфальтобетона ЩМБг-І/2,55
1. Средняя плотность (объемная масса), г/см ³	2,52	-
2. Пористость минерального остова, % по объему	15	13-18
3. Водонасыщение, % по объему	1,6	1-4
4. Набухание, % по объему	0	Не более 0,5
5. Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	2,66	Не менее 1,1
6. Предел прочности при сдвиге при температуре 50°С, МПа	2,81	Не менее 2,55
7. Предел прочности при растяжении при температуре 0°С, МПа	3,74	2,0-3,5
8. Коэффициент морозостойкости после 50 циклов замораживания оттаивания.	0,69	Не менее 0,70
9. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в агрессивной среде после 28 суток	0,81	Не менее 0,75

Примечание: температура разогрева смеси составляет 160⁰ С, температура уплотнения образцов – 150-160⁰ С.

Результаты испытаний асфальтобетона из горячей регенерированной смеси, приготовленной по традиционной технологии, не соответствуют требованиям СТБ1033-2004, предъявляемым к асфальтобетону ЩМБг-І/2.55. Введение в состав асфальтобетона типа Б 20% асфальтогранулята (состаренного асфальтобетона ЩМБг-І/2.55) изменяет физико-механические свойства асфальтобетона из горячей регенерированной смеси: значительно увеличивают прочностные свойства, но в то же время значительно снижается значение коэффициента морозостойкости. Рост предела прочности на растяжение при расколе при 0⁰ С вызван повышением вязкости асфальтовязущего вещества, что в свою очередь является результатом введением в состав состаренного вяжущего.



3 Определение оптимальной температуры уплотнения теплой регенерированной асфальтобетонной смеси, содержащей стабилизатор «ANT», с использованием установки гираторного типа

Наиболее перспективным способом регенерации асфальтобетона является «теплый» способ. Этот способ позволяет использовать до 100% асфальтогранулята в составе смеси. При этом не требуются значительные затраты на переоборудование асфальтосмесительных установок и асфальтоукладочной техники.

Изготовление асфальтобетонных образцов и определение оптимальной температуры уплотнения теплого регенерированного асфальтобетона производилось на установке гираторного типа, представленной на рисунке 2. Данная установка имитирует уплотнение асфальтобетона катком.

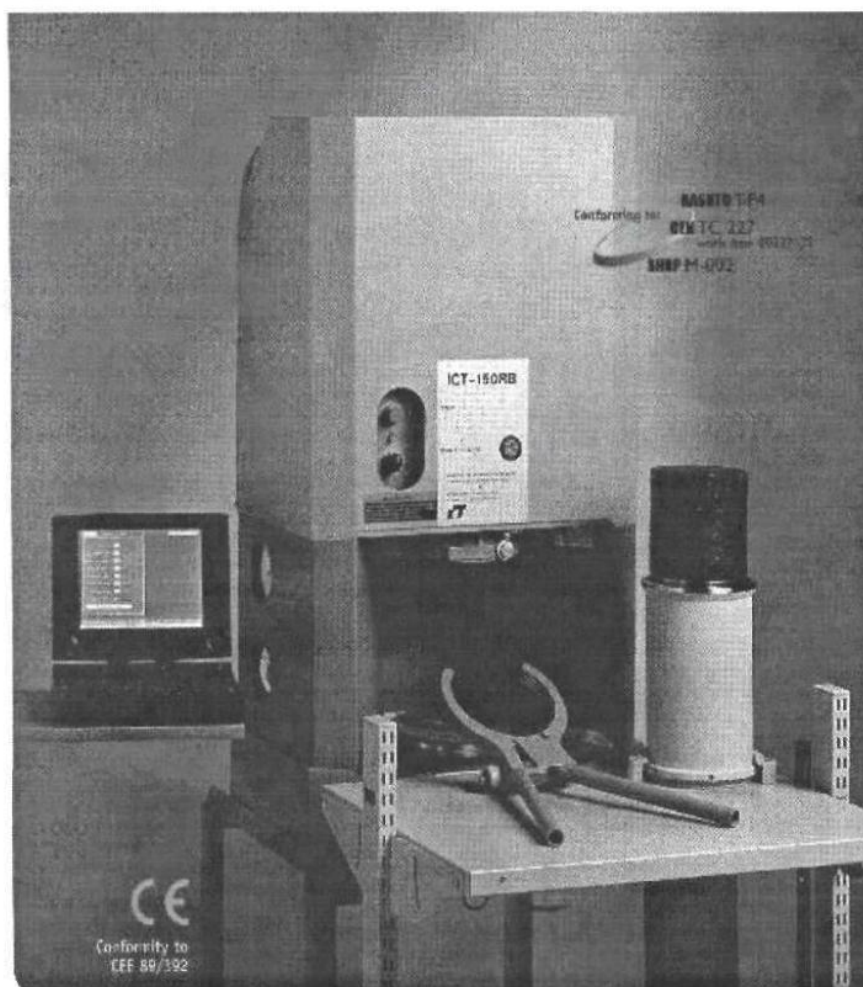


Рисунок 2 – Установка гираторного типа

Способность массы к уплотнению оценивается с помощью графиков плотности и по показателю «Содержание пустот после 10 оборотов» в соответствии со стандартом EN 13108-20:2006, D2.



Для получения образца асфальтобетонная смесь уплотняется на гироуплотнителе в цилиндрической форме при постоянной температуре и давлении. Ось формы совершает круговое вращение с заданным количеством оборотов и углом качания.

Среднее давление на образец равно действующей на него силе, разделённой на поперечную площадь цилиндра. Один рабочий оборот происходит при прохождении осью цилиндра полного круга.

Угол качания – это угол отклонения оси цилиндра от поверхности поворотной платформы. Угол измеряется в миллирадианах или в градусах ($10 \text{ mrad} = 0,5730^\circ$).

Давление, скорость вращения и количество оборотов можно изменять, в некоторых установках можно регулировать и угол качания. Параметры следует подбирать так, чтобы уплотнение при прессовке соответствовало уплотнению асфальтобетонной смеси при укатке в слое покрытия автомобильной дороги.

Степень уплотнения определяется по изменению высоты образца. Высота образца во время уплотнения регистрируется после каждого рабочего оборота и в конце испытания. Изменение объёма образца в пропорции с количеством рабочих оборотов позволяет оценить уплотняемость образца.

Для устройства покрытий автомобильных дорог применяют асфальтогранулят, полученный путем дробления или фрезерования асфальтобетона покрытий и оснований.

Изготовление регенерированной смеси для определения оптимальной температуры уплотнения производилось следующим образом.

Подготавливалась проба асфальтогранулята (состаренного по технологии, описанной в п. 1 асфальтобетона типа ЩМБг-1/2,55). Пробу асфальтогранулята разогревали до температуры 120°C . В разогретый асфальтогранулят вводили расчетное количество водного раствора стабилизатора «АНТ» и тщательно перемешивали в течение 5-10 секунд до однородного состояния регенерированной смеси. Норма расхода стабилизатора составляла 0,01% от массы асфальтогранулята.

Норма расхода воды, необходимой для приготовления расчётного количества водного раствора стабилизатора «АНТ», составляла 5% от массы асфальтогранулята.

Приготовление водного раствора стабилизатора осуществлялось в предварительно очищенной ёмкости путём смешения необходимого количества воды и стабилизатора. Обязательное правило приготовления водного раствора - стабилизатор вводили в воду. Перемешивание компонентов выполнялось любым возможным способом.

Водный раствор стабилизатора готовился непосредственно перед его применением. Использование водного раствора стабилизатора осуществлялось не ранее



чем через 10 минут после приготовления.

Результаты определения оптимальной температуры уплотнения теплой регенерированной асфальтобетонной смеси с использованием стабилизатора «ANT» представлены на рисунке 3 и в таблице 5.

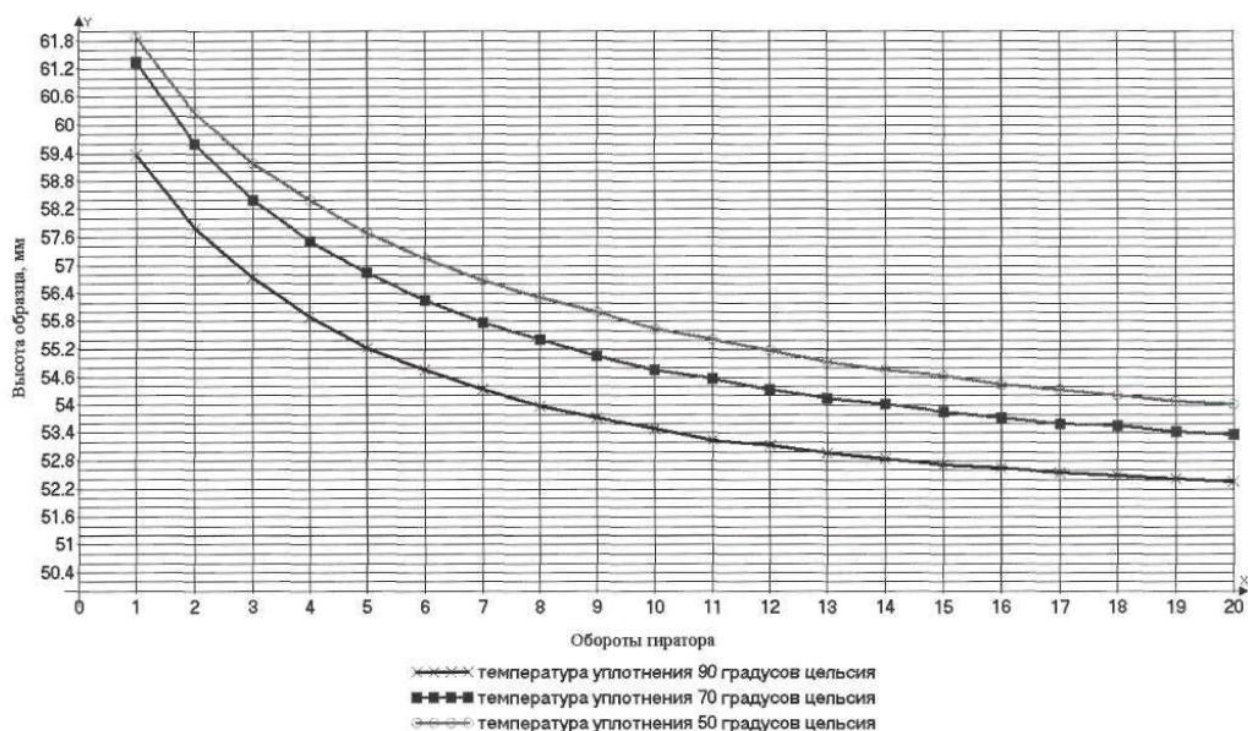


Рисунок 3 – Кривые уплотнения образцов на гираторе.

Таблица 5 – Результаты определения плотности образцов из регенерированного теплого асфальтобетона с применением стабилизатора «ANT».

Температура уплотнения регенерированного асфальтобетона, °C	Средняя плотность, г/см ³	Водонасыщение, %
50	2,49	2,0
70	2,49	1,7
90	2,50	1,9

По результатам определения показателей средней плотности, водонасыщения и кривым уплотнения можно сделать вывод, что оптимальной температурой уплотнения теплого регенерированного асфальтобетона с применением стабилизатора «ANT» является температура 80-90 °C.



4 Приготовление теплой регенерированной асфальтобетонной смеси, содержащей стабилизатор «ANT».

Определение физико-механических свойств регенерированного асфальтобетона, приготовленного по новой технологии

Для определения физико-механических свойств теплого регенерированного асфальтобетона с использованием стабилизатора «ANT» была приготовлена смесь по технологии, изложенной в разделе 3. Из смеси были изготовлены стандартные образцы диаметром 71,4 мм по СТБ 1115-2004, температура уплотнения составляла 80° С. Образцы испытывались на 7-е сутки после изготовления.

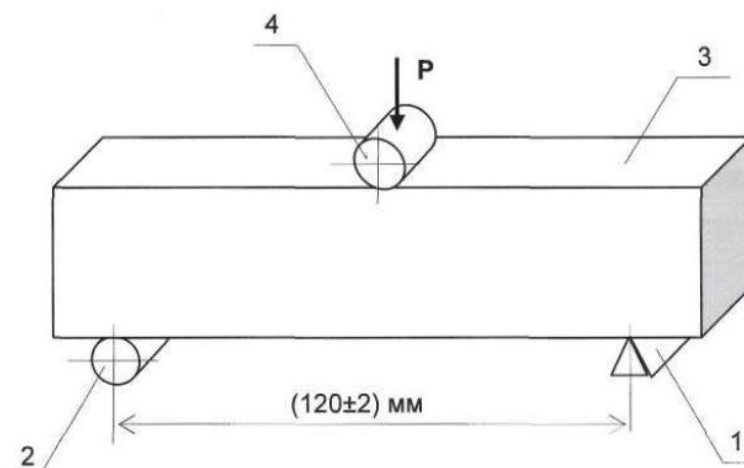
Также были изготовлены образцы-балочки для определения предела прочности при изгибе при температуре 20 °С.

Определение предела прочности при изгибе производилось следующим образом.

Устанавливалась скорость движения плиты пресса – (2,5-3,5) мм/мин.

Образец устанавливали на опоры той гранью, которая при уплотнении была вертикальной. Поверхность образца должна плотно прилегать к опорам по всей ширине. Посередине образца, на разметочной линии, помещали нагрузочный ролик. Нагрузка должна прикладываться через нагрузочный ролик равномерно по всей ширине образца.

Верхнюю плиту пресса опускали и останавливали ее выше нагрузочного ролика на (4-6) мм.



1 – неподвижная опора; 2 – подвижная опора; 3 – образец; 4 – нагрузочный ролик

Рисунок 4 – Схема размещения образца-призмы при определении предела прочности при изгибе

Плоскость плиты пресса и грань ролика должны быть параллельны, как показано на рисунке 4.

Нагружали образец. В момент разрушения образца испытательную машину ос-



танавливали.

Максимальное показание индикатора силоизмерителя принимается за разрушающую нагрузку Р.

Обработка результатов.

Предел прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}^{20}$, МПа, с точностью до второго десятичного знака вычисляют по формуле

$$R_{изг}^{20} = \frac{3P * l}{2b * h^2} 10^{-2}$$

- где Р - разрушающая нагрузка, Н;
l - расстояние между опорами, см;
b - ширина образца, см;
h - высота образца, см;
 10^{-2} - коэффициент пересчета в МПа.

Результаты определения физико-механических свойств теплого регенерированного асфальтобетона с использованием стабилизатора «ANT» представлены в таблице 6 и 7.

Таблица 6 – Физико-механические свойства регенерированного асфальтобетона с использованием стабилизатора «ANT».

Наименование показателей	Фактическое значение	Требования СТБ 1033 для асфальтобетона ЩМБг-1/2,55
1. Средняя плотность (объемная масса), г/см ³	2,51	-
2. Пористость минерального остова, % по объему	15	13-18
3. Водонасыщение, % по объему	2,5	1-4
4. Набухание, % по объему	0	не более 0,5
5. Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	2,76	не менее 1,1
6. Предел прочности при сдвиге при температуре 50 ⁰ С, МПа	2,39	не менее 2,55
7. Предел прочности при растяжении при температуре 0 ⁰ С, МПа	2,34	2,0-3,5
8. Коэффициент морозостойкости после 50 циклов замораживания оттаивания.	0,67	не менее 0,70
9. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в агрессивной среде после 28 суток	0,96	не менее 0,75

Примечание: температура разогрева смеси составляет 120⁰ С, температура уплотнения образцов – 80⁰ С.



Таблица 7 – Результаты определения физико-механических свойств теплого регенерированного асфальтобетона с использованием стабилизатора «АНТ», горячего регенерированного по традиционной технологии, асфальтобетона типа ЩМБг-І/2.55, асфальтогранулята (состаренного асфальтобетона типа ЩМБг-І/2.55).

Наименование показателя	Теплый регенерированный асфальтобетона с использованием стабилизатора «АНТ»	Горячий регенерированный асфальтобетон ЩМБг-І/2,55 изготовленный по традиционной технологии	Асфальтобетон типа ЩМБг-І/2,55	Состаренный асфальтобетон типа ЩМБг-І/2,55	Требования СТБ 1033 для асфальтобетона ЩМБг-І (ІІ/ІІІ) марки
Температура разогрева/уплотнения смеси, °С	120/80	160/150-160	160/150-160	160/150-160	160-175/140-160
Средняя плотность, г/см ³	2,51	2,52	2,49	2,53	-
Водонасыщение, %	2,5	1,6	2,0	1,2	1,0-4,0 (1,0-4,0)
Набухание, %	0	0	0	0	Не более 0,5 (1,0-1,5)
Предел прочности на сжатие при 50°С, МПа	2,76	2,66	2,11	4,44	Не менее 1,1 (1,0/0,9)
Предел прочности на растяжение (раскол) при 0°С, МПа	2,39	3,74	3,42	3,48	2,0-3,5 (1,5-3,0/1,0-3,0)
Предел прочности на сдвиг при 50°С, МПа (метод Никольского)	2,34	2,81	2,62	4,55	2,55 (2,3/2,0)
Предел прочности на растяжение при 3х точечном изгибе, при 20°С, МПа	4,1	9,4	8,6	5,1	-
Относительная деформация при растяжении при 3х точечном изгибе, %	1,9	2,4	3,8	1,3	-
Коэффициент морозостойкости после 50 циклов замораживания-оттаивания.	0,67	0,69	0,74	0,63	Не менее 0,7 (-)
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в агрессивной среде после 28 суток	0,96	0,81	0,80	0,88	Не менее 0,75 (0,70/0,65)



Регенерированный асфальтобетон из теплой регенерированной смеси с применением стабилизатора «ANT» не соответствует требованиям СТБ1033-2004, предъявляемым к асфальтобетону типа Б I марки по показателю «Коэффициент морозостойкости после 50 циклов замораживания-оттаивания».

Введение в асфальтогранулят (состаренная асфальтобетонная смесь типа ЩМБг-I/2,55) стабилизатора «ANT» уменьшает предел прочности асфальтобетона при сжатии при температуре 50⁰ С на 62%, уменьшает предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0⁰ С на 69%, уменьшает предел прочности на сдвиг при температуре 50⁰ С на 51%, увеличивает максимальную относительную деформацию при трехточечном изгибе при температуре 20⁰ С на 46%, увеличивает коэффициент морозостойкости на 6%, увеличивает коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в агрессивной среде после 28 суток на 9%.

Как показывают результаты исследований, применение стабилизатора «ANT» положительно влияет на физико-механические свойства асфальтобетона. Химические процессы при регенерации состаренного битума снижают его вязкость и повышают деформативность, следовательно, уменьшают вероятность появления дефектов покрытия в виде температурных и усталостных трещин, коррозии. При этом, прочностные свойства асфальтобетона при высоких температурах остаются достаточно высокими, что бы выдерживать существующую транспортную нагрузку.



5 Определение прогнозируемого срока службы исходного асфальтобетона, асфальтобетона из горячей регенерированной асфальтобетонной смеси, приготовленной по традиционной технологии, асфальтобетона из теплой регенерированной асфальтобетонной смеси, содержащей стабилизатор «ANT», приготовленной по новой технологии. Расчет экономической эффективности применения стабилизатора «ANT» в регенерированной смеси из асфальтогранулята, приготовленной по новой технологии

Определение расчетного срока службы асфальтобетона осуществляется по критериям устойчивости к пластическим деформациям, усталостной долговечности, коррозионной стойкости.

Расчетный срок службы из условия проявления критических пластических деформаций $T_{\text{пласт}}$ определяют по формуле

$$T_{\text{пласт}} = (K_{\text{усл}} \cdot H_{\text{кр}}) / (H_1 \cdot I_{\text{расч}} \cdot T_{50})$$

где $K_{\text{усл}}$ – коэффициент условий движения; для стесненных условий движения (мосты, путепроводы, тоннели) принимают 1,0, в остальных случаях – 1,3;

$H_{\text{кр}}$ – критическая деформация (допустимая глубина колеи); для расчетов принимают 0,01 м;

H_1 – величина пластической деформации (глубина колеи), м, после одного цикла воздействия колесной нагрузки при температуре 50 °С, определяется опытным путем;

$I_{\text{расч}}$ – интенсивность движения по полосе расчетных автомобилей авт/ч; определяют по результатам наблюдений за конкретным участком автомобильной дороги; в случае отсутствия наблюдений, интенсивность движения расчетного автомобиля принимают по таблице 8;

T_{50} - количество часов в году с температурой покрытия 50 °С и выше, ч/год; определяется по данным метеостанций в каждом конкретном регионе; при отсутствии данных рекомендуется принять 190 ч/год.

Таблица 8

Категория дороги	I	II	III
Интенсивность движения расчетного автомобиля по полосе, авт/ч	250	200	150

Исследование асфальтобетона на устойчивость к колееобразованию и определе



ление глубины колеи после одного прохода колеса проводилось в соответствии с методикой, приведенной в ДМД 02191.9.005-2008.

Предлагаемая методика предназначена для оценки свойств асфальтобетонной смеси, влияющих на сдвигустойчивость дорожного покрытия.

Сущность метода испытания заключается в измерении глубины колеи в асфальтобетонном образце после проведения циклических испытаний по воздействию колесной нагрузки по одному следу при температуре 50°C .

При проведении испытаний использовались следующие средства испытаний.

Установка для проведения циклического нагружения асфальтобетонных образцов, состоящая из специального устройства, моделирующего нагружение асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги, формы для установки асфальтобетонных образцов, измерителя глубины колеи и термоизолированного шкафа, обеспечивающего температуру воздуха $(50 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ (рисунок 5).

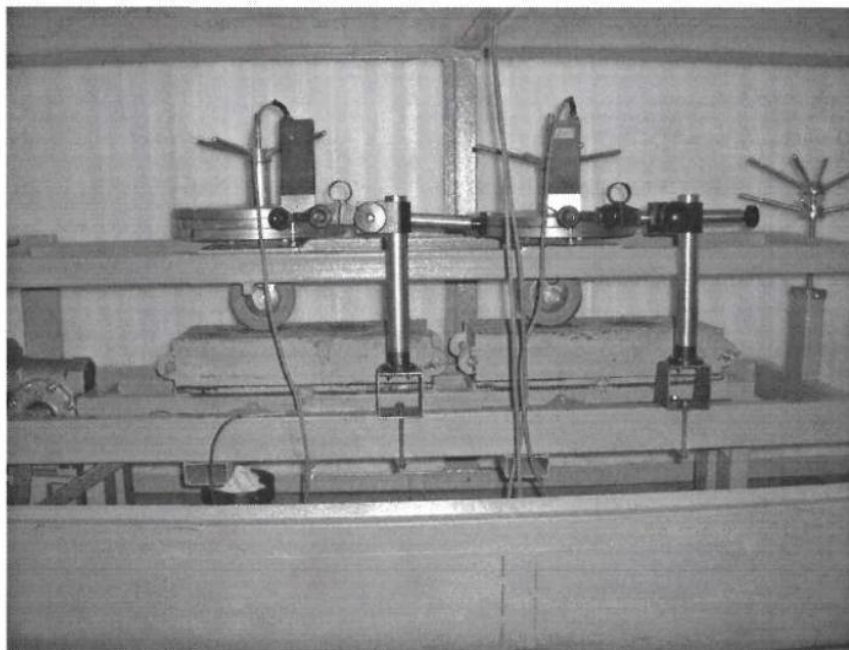


Рисунок 5 – Общий вид установки нагружения колесом.

Основные параметры устройства для нагружения асфальтобетонного образца:

- давление колеса на образец от 0,6 до 0,8 МПа, создающееся с помощью грузов;
- размеры колеса: диаметр – 10 см, ширина - 2 см;
- скорость поступательного движения колеса (5 ± 1) км/ч;
- длина движения колеса (прохода) от одного упора до другого $(37 \pm 0,5)$ см.

Форма представляет собой разъемный металлический короб с внутренними размерами: ширина (110 ± 2) мм, длина (402 ± 2) мм, глубина (70 ± 2) мм.



Средства измерения и вспомогательное оборудование:

-штангенциркуль по ГОСТ 166, обеспечивающий погрешность измерения не более 0,1 мм;

-микрометр-штангенглубиномер, обеспечивающий погрешность измерения не более 0,01 мм;

-термометр химический ртутный стеклянный с ценой деления шкалы не более 2 °С по ГОСТ28498;

-станок для резки и распиловки строительных материалов;

-нож для штыковки/

Материалы, вещества:

-цементобетонная смесь;

-цементобетонное тесто.

Подготовка к проведению испытания

Устойчивости асфальтобетона к колееобразованию определялась на цилиндрических образцах диаметром 100 мм и высотой 60 мм, состав асфальтобетона и методика изготовления образцов из теплой регенерированной асфальтобетонной смеси с использованием стабилизатора «ANT» (новая технология) приведена в разделах 3 и 4, образцов из регенерированной горячей асфальтобетонной смеси по традиционной технологии – в разделе 2.

Измерение высоты образцов h производилось с точностью до $\pm 0,1$ мм с помощью штангенциркуля в четырех точках, расположенных по двум взаимно перпендикулярным диаметральному сечениям цилиндра.

Форму заполняли цементобетонной смесью до определенного уровня (высотой 3-5 см от дна формы), уплотняя ее штыкованием. Затем на выровненную поверхность устанавливали асфальтобетонные образцы, согласно рисунку 6, вдавливая их в смесь. Свободное пространство заливали цементобетонной смесью вровень с образцами, уплотняя ее штыкованием с последующим выглаживанием шпателем.

Через сутки поверхность контролировали. Неровности заполняли цементным тестом. Подготовленную форму выдерживали несколько суток для затвердения цементобетона.

Перед испытанием форму с образцами закрепляли в установке, включали обогревательный элемент термоизолированного шкафа. Время термостатирования от момента установления температуры (50 ± 2) °С составляло не менее 2,5 ч.

По истечении времени термостатирования на образцы устанавливали колесную нагрузку и включали двигатель специального устройства.



Глубину колеи в каждом образце измеряли с помощью штангенглубиномера с точностью до 0,01 мм после 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 15000 и 20000 циклов испытаний.

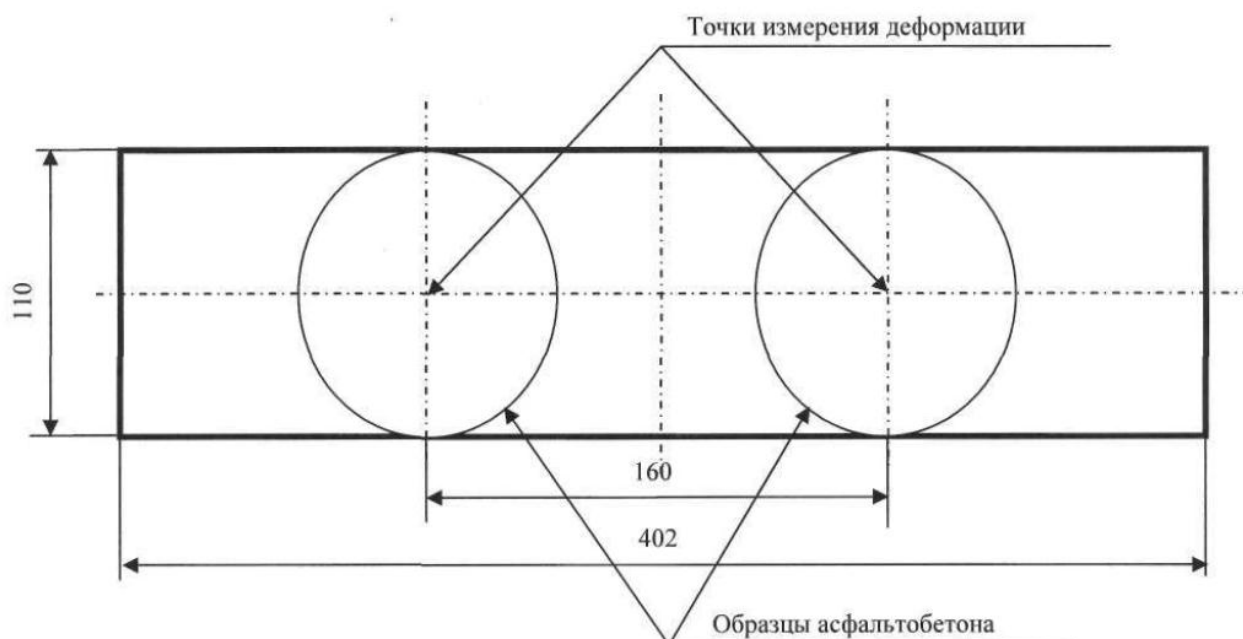


Рисунок 6 – Схема расположения цилиндрических образцов в форме и размещение точек измерения глубины колеи в образцах

Деформацию измеряли в центре цилиндрических асфальтобетонных образцов. Глубину колеи для каждого цикла нагружения принимали как среднее арифметическое значение результатов измерений колеи по двум образцам.

За результат принималось округленное до второго десятичного знака средне-арифметическое значение результатов двух параллельных определений.

Результаты испытаний асфальтобетона на установке циклического нагружения представлены в таблице 9 и рисунке 7.

Таблица 9 – Максимальная величина колеи

Наименование смеси	Максимальная величина колеи после 20000 проходов, мм
Асфальтобетон типа ЩМБг-1/2,55	1,56
Теплая регенерированная смесь с использованием стабилизатора «АНТ»	0,67
Горячая регенерированная смесь, изготовленная по традиционной технологии	0,94



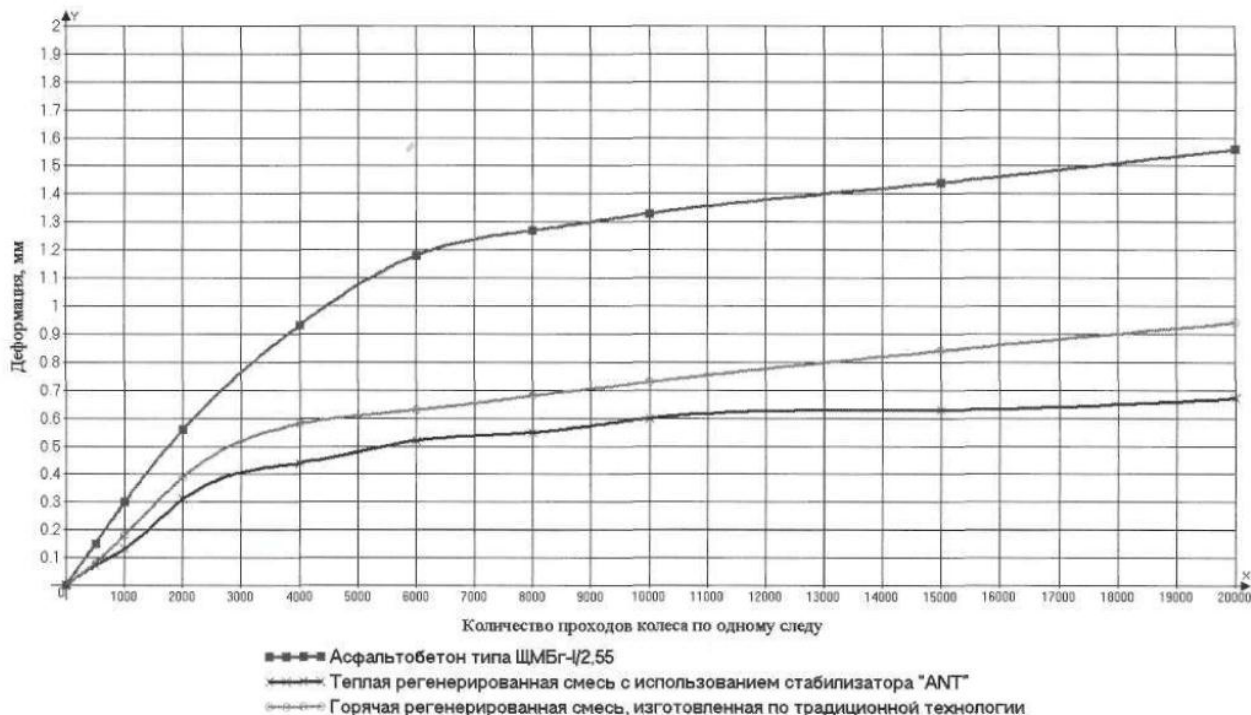


Рисунок 7 – Результаты испытания асфальтобетонных смесей на установке циклического нагружения колесом.

Результаты расчета срока службы покрытия из условия появления критических пластических деформаций представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Расчетный срок службы покрытия из условия появления критических пластических деформаций

Наименование смеси	Расчетный срок службы покрытия из условия появления критических пластических деформаций, лет для I категории дороги.
Асфальтобетон типа ЩМБг-1/2,55	8,64
Теплая регенерированная смесь с использованием стабилизатора «ANT»	19,04
Горячая регенерированная смесь, изготовленная по традиционной технологии	12,16

Расчетный срок службы асфальтобетона из условия усталостной долговечности $T_{уст}$ определяется по ДМД 02191.2.042.

Расчетный срок службы асфальтобетона ($T_{уст}$) определяется по формуле

$$T_{уст} = \frac{D_{кр}}{D_n}$$

где $D_{кр}$ – критическая усталостная повреждаемость асфальтобетона, %;



D_n – прогнозируемая усталостная повреждаемость асфальтобетона вновь устроенного покрытия, %.

Значение прогнозируемой усталостной повреждаемости вновь устроенного покрытия D_n определяется по следующей методике, предназначенной для определения степени повреждаемости образцов асфальтобетона при испытании по схеме циклического одноосного сжатия.

Сущность метода заключается в оценке изменения высоты асфальтобетонного образца под воздействием импульсной нагрузки, действующей параллельно его вертикальной оси, при температуре 40 °С, и последующем анализе соотношения упругой и пластической деформаций, деформации упругого последствия и определения коэффициентов аппроксимирующих функций максимальной деформации при циклической нагрузке и упругой составляющей деформации образца.

При проведении испытаний используют следующие средства измерений и испытательное оборудование.

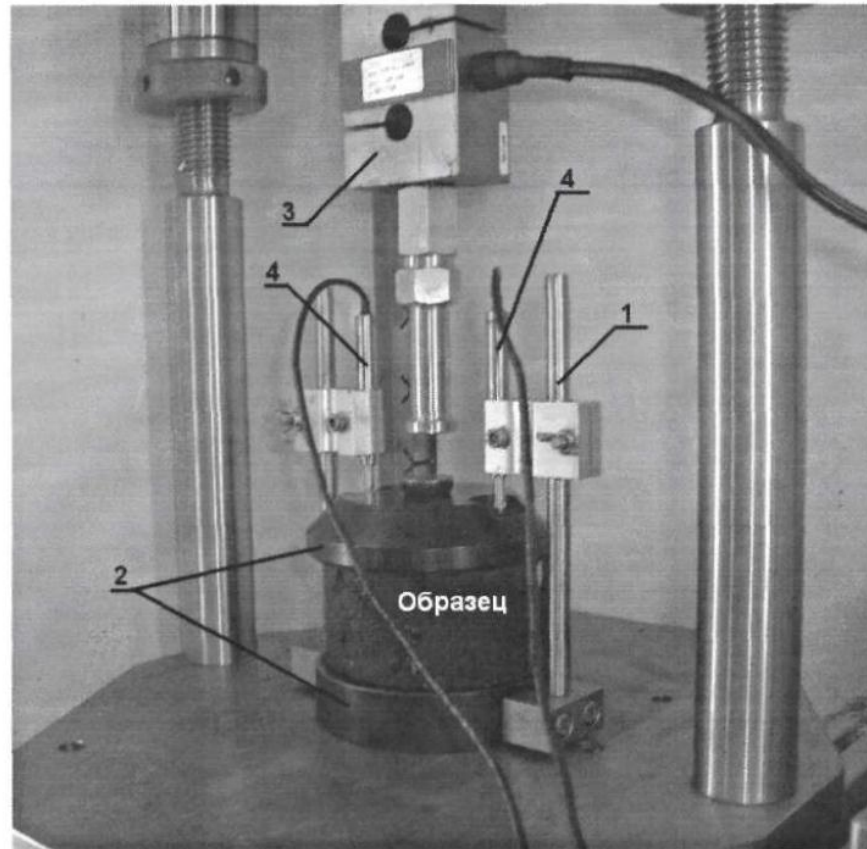
Испытательное оборудование.

Испытательный комплекс Cooper Technology (рисунок 8), в состав которого входят теплоизолированный шкаф, съемная испытательная рама 1 с нагрузочными пластинами 2, прибор периодического импульсного нагружения 3 и датчики деформации 4.

Система измерения деформации обеспечивает измерение вертикальной деформации в минимальном диапазоне 5 мм с точностью $\pm 0,1$ % от измеряемой области.

Контрольная и измерительная системы включают персональный компьютер с программным обеспечением, генератор с программируемым действием и контрольной электрической цепью, которая генерирует необходимый сигнал нагружения. Контрольная система гарантирует отсутствие осцилляций контролируемых физических показателей (силы) во время испытания.





1 – испытательная рама; 2 – нагрузочные пластины;
3 – прибор периодического импульсного нагружения; 4 – датчики деформации

Рисунок 8 – Схема размещения образца в испытательном комплексе
Cooper Technology

Теплоизолированный шкаф с принудительной вентиляцией имеет объем, достаточный для размещения нагрузочного устройства и акклиматизации испытываемых образцов и обеспечивает заданную температуру с точностью не более ± 1 °С.

Водяная баня или термошкаф, обеспечивающие заданную температуру воздуха или воды 40 °С с погрешностью не более ± 1 °С.

Средства измерений.

Термометр химический ртутный стеклянный с ценой деления не более 0,5 °С по ГОСТ 28498.

Штангенциркуль по ГОСТ 166, обеспечивающий погрешность измерений не более 0,1 мм.

Угольник поверочный 90° по ГОСТ 3749 с комплектом щупов.

Вспомогательное оборудование.

Станок для резки и распиловки строительных материалов

Порядок подготовки к проведению испытаний.



Образцы изготавливались в лаборатории по методике описанной в разделе 3 и 4.

Диаметр образцов должен составлять $(100 \pm 2,0)$ или $(150 \pm 3,0)$ мм.

Высота образцов должна составлять (50 ± 5) мм.

Грани образца должны быть плоскопараллельными и перпендикулярными.

Перпендикулярность боковой образующей основанию образца контролируют с помощью угольника поверочного 90° по ГОСТ 3749 и комплекта щупов. Допустимое отклонение не должно превышать $\pm 3^\circ$. Допускается применять другие средства, метрологические характеристики которых позволяют определять контролируемый показатель с заданной точностью.

Геометрические размеры образца измеряют при помощи штангенциркуля.

Высоту образца измеряют по четырем точкам в двух взаимно перпендикулярных сечениях. Разность между максимальным и минимальным измеренными значениями высоты не должна превышать 2,0 мм – для образца диаметром 150 мм и 1,5 мм – для образца диаметром 100 мм. Среднюю высоту образца с точностью до 1 мм принимают как среднее арифметическое значение четырех измерений.

Диаметр образца измеряют с точностью до $\pm 1,0$ мм при помощи штангенциркуля по двум взаимно перпендикулярным сечениям. За результат измерения принимают среднее арифметическое двух измерений.

Хранят образцы на плоской поверхности, защищенной от солнечных лучей.

Перед испытанием образцы и нагрузочные пластины термостатируют при температуре 40°C в течение не менее 1 часа в водяной бане или в термошкафу в течение не менее двух часов.

Проведение испытания.

Образец извлекают из термошкафа (или водяной бани) и устанавливают на нижнюю нагрузочную пластину испытательной рамы и накрывают верхней нагрузочной пластиной.

На испытательной раме закрепляют датчики деформации в их крайнем положении, при минимально выпущенном штоке, и опирающиеся в соответствующие выемки верхней нагрузочной пластины. Собранную съемную испытательную раму с образцом и датчиками устанавливают в нагрузочный стенд. На верхнюю нагрузочную пластину укладывают полусферический шарнир.

Выполняют ввод исходных параметров образца и условий испытания в компьютерной программе.

Продолжительность испытания – 1 800 циклов нагружения.



Испытание проводят в два этапа:

- 1) подготовка - предварительное воздействие нагрузкой 10 кПа в течение 210 с;
- 2) основное циклическое испытание: воздействие на образец нагрузки 100 кПа в течение 1,0 с, затем следует пауза (разгрузка) продолжительностью 1,0 с.

На рисунке 9 представлены синхронизированные графики «Сила (Нагрузка) – Время» и «Деформация – Время» процесса определения устойчивости асфальтобетона к пластическим деформациям под действием циклической нагрузки.

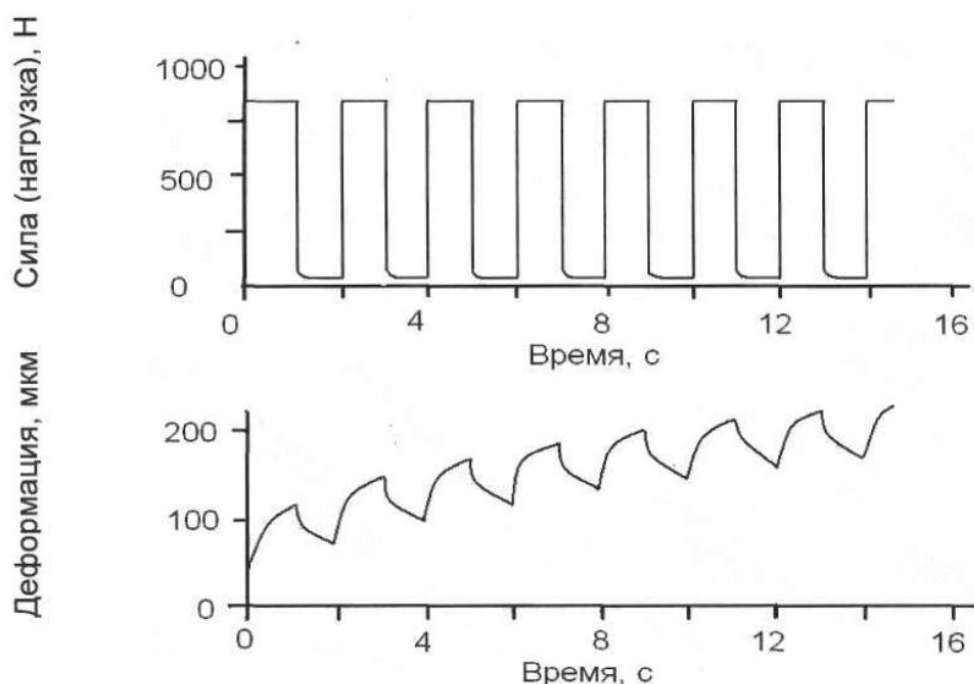


Рисунок 9 – Синхронизированные графики «Сила (нагрузка) – Время» и «Деформация – Время» процесса определения устойчивости асфальтобетона к пластическим деформациям под действием циклической нагрузки

Во время испытания измеряется величина полной деформации. Начало отсчета деформации образца (нулевое значение) устанавливается после воздействия предварительной нагрузки. Первое измерение деформации образца происходит через 2 цикла, в интервале 10-100-й цикл – через каждые 10 циклов, последующие измерения – через каждые 100 циклов.

Обработка результатов.

Расчет усталостной повреждаемости асфальтобетонного образца выполняется по программе GREEP.

Управление программой *CREEP* осуществляется с помощью команд, заложенных в меню.

Исходные данные для программы *CREEP* должны быть подготовлены



по результатам испытания асфальтобетонного образца на основании диаграммы цикловой деформации.

Кроме указанных коэффициентов для расчета по программе *CREEP* задаются:

- количество циклических нагружений образца;
- величина циклического напряжения;
- продолжительность периода циклических нагружений и отдыха образца;
- размеры образца (высоту и диаметр);
- значения деформации образца при циклическом нагружении;
- данные по критической усталостной повреждаемости

Для выполнения расчета следует обратиться к команде "Выполнить" из списка "Расчет".

После завершения расчета программа *CREEP* выдает расчетное значение прогнозируемой усталостной повреждаемости образца.

Разница между наибольшим и наименьшим значениями показателя не должна превышать 15 % от среднеарифметического значения.

Значение критической усталостной повреждаемости асфальтобетона $D_{кр}$ для покрытий дорог I –IV категорий принимается по таблице 11.

Таблица 11

Показатель	Категория дороги			
	I	II	III	IV
Прогнозируемая усталостная повреждаемость, %	4	5	6	7
Критическая усталостная повреждаемость, %	65	68	72	76

Результаты расчета срока службы покрытия автомобильной дороги по критерию усталостной долговечности приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Расчетный срок службы покрытия из условия усталостной долговечности

Наименование смеси	Расчетный срок службы покрытия из условия усталостной долговечности, лет для I категории дороги.
Асфальтобетон типа ЩМБг-I/2,55	12,35
Теплая регенерированная смесь с использованием стабилизатора «АНТ»	5,86
Горячая регенерированная смесь, изготовленная по традиционной технологии	9,92



Критерием оценки коррозионной устойчивости является снижение значения модуля упругости асфальтобетона в два раза от первоначального.

Для оценки расчетного срока службы асфальтобетона из условия обеспечения его коррозионной устойчивости определяют значения модуля упругости асфальтобетона после заданного количества циклов замораживания-оттаивания.

Срок службы асфальтобетона до появления критических деформаций $T_{кор}$, лет, (коррозионное разрушение) определяется по формуле

$$T_{кор} = M_2 / M_2$$

где M_2 - количество циклов замораживания-оттаивания, при котором значение модуля упругости асфальтобетона снижается в два раза;

M_2 – количество циклов перехода температуры покрытия через 0 °С за один год. Значение M_2 определяется по данным наблюдения за конкретным участком автомобильной дороги; при отсутствии данных рекомендуется принимать равным 100.

Сущность метода исследования заключается в определении значения модуля упругости предварительно водонасыщенных асфальтобетонных образцов после воздействия на них заданного количества циклов замораживания-оттаивания.

При проведении испытаний используются следующие средства испытаний.

- камера морозильная, обеспечивающая температуру замораживания минус (18 ± 2) °С;
- установка вакуумная с диапазоном измерения остаточного давления от 2000 Па до 101325 Па;
- измеритель прочности материалов ИПМ-1 по ТУ ВУ 100289280.021.

Средства измерения и вспомогательное оборудование:

- термометр химический ртутный стеклянный с диапазоном измерения от минус 30 °С до 30 °С с ценой деления шкалы не более 2 °С по ГОСТ 28498;
- ванна для оттаивания образцов.

Материалы, вещества:

- вода питьевая для насыщения и оттаивания образцов по ГОСТ 27065;
- соль поваренная по ГОСТ 13830.

Перед испытанием определяют значение модуля упругости асфальтобетонных образцов при температуре 18 °С. Определение производилось неразрушающим мето-



дом с применением прибора «ИПМ-1» (рисунок 10), регистрирующего параметры динамического ударного импульса.

Физическая сущность динамического импульсного метода заключается в нанесении жестким индентором удара по испытуемому объекту и регистрации параметра движения индентора в процессе его взаимодействия с объектом – текущей скорости индентора.



Рисунок 10 - Прибор «ИПМ-1»

Принцип динамического индентирования является наиболее рациональным и надежным для получения данных из зависимостей, устанавливающих связь между нагрузками и перемещениями в материале под воздействием внешних и внутренних сил. Эти зависимости, соответствующие различным видам напряженного состояния, отражают способность материала сопротивляться деформированию и представляют значительный интерес как при контроле прочностных и реологических характеристик, так и при разработке новых материалов для того, чтобы получить представление о возможном поведении материала при эксплуатации и определить его преимущества и недостатки по сравнению с предшествующими. Метод динамического индентирования дает возможность изучать сопротивление деформированию в условиях объемного напряженного состояния, характерного для материалов, работающих под действием контактных нагрузок, когда другие методы испытаний являются малоэффективными или вовсе неприменимыми.

Метод измерения динамических характеристик вязкоупругих материалов осно-



ван на механическом импедансе - реактивном отпоре материала. Индентор воздействует на материал силой, изменяющейся по гармоническому закону. При этом, по гармоническому закону изменяется как положение индентора, так и скорость его смещения. В такой схеме нагружения основная измеряемая характеристика, механический импеданс, определяется как отношение силы к скорости $Z=P/V$.

Испытания вязкоупругих материалов при динамическом индентировании заключаются в следующем: плоский штамп определенной площади, падая с определенной высоты, ударяет по поверхности испытуемого материала и отскакивает от нее. Фиксируются параметры отскока. Так как высота отскока после удара по поверхности испытуемого материала пропорциональна потере энергии, то отношение высоты отскока бойка к начальной высоте его сбрасывания может служить мерой реологических свойств материала. Обработка результатов испытаний производится на основании принятой дискретной модели деформирования материала.

При проведении испытаний используется следующее испытательное оборудование:

- мобильный испытательный комплекс (прибор испытательный «ИПМ-1», переносной ноутбук с соответствующим программным обеспечением);
- пирометр инфракрасный для бесконтактного измерения температуры исследуемого покрытия.

Перед началом проведения испытания производится замер температуры покрытия с применением бесконтактного инфракрасного пирометра.

Далее на покрытие устанавливают ударный механизм прибора «ИПМ-1» и плотно его прижимают. Производится 4 удара ударником по образцу. После этого производится испытание покрытия с записью результатов на ноутбук.

В процессе испытания фиксируются следующие показатели: твердость материала, вязкость по модели Максвелла и Фогта, жесткость по модели Максвелла и Фогта, эффективный коэффициент вязкости, динамический модуль упругости и т. д.

За результат определения вязкости и модуля упругости принимают среднее арифметическое значение результатов определения модуля упругости семи испытаний.

Затем образцы насыщают 5 %-ным водным раствором поваренной соли по 6.7.3 СТБ 1115.

Водонасыщенные образцы загружают в морозильную камеру так, чтобы расстояние между образцами было не менее 50 мм. Если после загрузки камеры температура в ней повысится, то началом замораживания считают момент, когда в морозильной ка-



мере установится температура минус (18 ± 2) °С. Продолжительность одного замораживания при установившейся температуре в камере должна быть не менее 2,5 ч. Оттаивание образцов после их выгрузки из морозильной камеры проводят в течение 2 ч в ванне с 5 %-ным раствором поваренной соли при температуре (18 ± 2) °С.

Число циклов замораживания-оттаивания в течение суток должно быть не менее одного. При вынужденных или технически обоснованных перерывах при испытании на морозостойкость образцы должны находиться в замороженном состоянии.

После 5, 10, 20, 30, 50 циклов замораживания-оттаивания образцы выдерживают в течение 2 ч в воде при температуре (18 ± 2) °С и определяют модуль упругости.

Обработка результатов испытания.

Коэффициент морозостойкости $K_{мор}^n$ после n циклов замораживания-оттаивания вычисляют с точностью до второго десятичного знака по формуле

$$K_{мор}^n = \frac{E^n}{E^0},$$

где E^n - модуль упругости асфальтобетона при температуре (18 ± 2) °С после n циклов замораживания-оттаивания в 5% растворе поваренной соли, МПа;

E^0 - модуль упругости асфальтобетона при температуре (18 ± 2) °С до начала замораживания-оттаивания, МПа.

Количество циклов замораживания-оттаивания M_2 , при котором значение коэффициента морозостойкости асфальтобетона равно 0,5, определяют по формуле

$$M_2 = 20 \times \frac{K_{мор}^{30} - 0,5}{K_{мор}^{30} - K_{мор}^{50}},$$

где $K_{мор}^{30}$, $K_{мор}^{50}$ - коэффициенты морозостойкости асфальтобетона после 30 и 50 циклов замораживания-оттаивания соответственно.

За результат испытаний принимают округленное до целого числа среднеарифметическое значение результатов испытаний трех образцов.

Результаты определения расчетного срока службы покрытия из условия обеспечения его коррозионной устойчивости приведены в таблице 13.



Таблица 13 – Расчетный срок службы покрытия из условия обеспечения коррозионной устойчивости

Наименование смеси	Расчетный срок службы покрытия из условия обеспечения коррозионной устойчивости, лет.
Асфальтобетон типа ЩМБг-I/2,55	9,15
Теплая регенерированная смесь с использованием стабилизатора «АНТ»	6,97
Горячая регенерированная смесь, изготовленная по традиционной технологии	7,86

За расчетный срок службы асфальтобетона $T_{расч}$, который представляет собой период времени безотказной работы материала покрытия (без появления сдвиговых деформаций, усталостных трещин, коррозионных разрушений) в течение всего расчетного срока службы, принимают наименьший срок службы из всех по перечисленным выше критериям: $T_{пласт}$, $T_{уст}$, $T_{кор}$. Результаты определения расчетного срока службы покрытия автомобильной дороги приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Расчетный срок службы покрытия

Наименование смеси	Расчетный срок службы, лет.	Критерий минимального расчетного срока службы покрытия
Асфальтобетон типа ЩМБг-I/2,55	8,64	Сдвиговые деформации
Теплая регенерированная смесь с использованием стабилизатора «АНТ»	5,86	Усталостные трещины
Горячая регенерированная смесь, изготовленная по традиционной технологии	7,86	Коррозионные разрушения

Расчет экономической эффективности.

Стоимость материалов для приготовления 1 тонны асфальтобетонной смеси базового состава типа ЩМБг-I/2,55 составляет 430 тыс. руб.

Стоимость материалов для приготовления 1 тонны теплой регенерированной асфальтобетонной смеси с использованием стабилизатора «АНТ» – 174 тыс. руб.

Стоимость материалов для приготовления 1 тонны горячей регенерированной



асфальтобетонной смеси, изготовленной по традиционной технологии – 353 тыс. руб.

Расчетный срок службы асфальтобетона базового состава составляет 9 лет, регенерированного асфальтобетона, приготовленного с использованием стабилизатора «АНТ» – 6 лет, горячего регенерированного асфальтобетона приготовленного по традиционной технологии – 8 лет.

По таблице 15 определяем доли сметной стоимости исходных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей по двум сравниваемым вариантам в расчете на 1 год эксплуатации.

Таблица 15

Расчетный срок службы асфальтобетона, лет	Коэффициент доли сметной стоимости исходных материалов для приготовления асфальтобетона, P_i
1	1,0000
2	0,4762
3	0,3021
4	0,2155
5	0,1638
6	0,1296
7	0,1054
8	0,0874
9	0,0736
10	0,0627
11	0,0540
12	0,0468
13	0,0408
14	0,0357
15	0,0315
20	0,0175

Коэффициент доли сметной стоимости исходных материалов для асфальтобетона типа ЩМБг-1/2.55 $P_1 = 0,0736$;

Коэффициент доли сметной стоимости исходных материалов для асфальтобетона из теплой регенерированной смеси с использованием стабилизатора «АНТ» $P_2 = 0,1296$.

Коэффициент доли сметной стоимости исходных материалов для асфальтобетона из горячей регенерированной смеси, изготовленной по традиционной технологии $P_3 = 0,0874$.

Определяем коэффициенты изменения расчетного срока службы

Коэффициент изменения расчетного срока службы регенерированного асфальтобетона, приготовленного с использованием стабилизатора «АНТ», по сравнению с базовым вариантом асфальтобетоном типа ЩМБг-1/2,55:



$$\varphi_1 = \frac{0,0736 + 0,15}{0,1296 + 0,15} = 0,799714;$$

Коэффициент изменения расчетного срока службы регенерированного асфальтобетона приготовленного по традиционной технологии по сравнению с базовым вариантом асфальтобетоном типа ЩМБг-1/2,55:

$$\varphi_2 = \frac{0,0736 + 0,15}{0,0874 + 0,15} = 0,941870$$

Определяем экономический эффект.

Экономический эффект применения технологии с использованием стабилизатора «ANT»: $\mathcal{E}_1 = 430 \cdot 0,799714 - 174 = 169,9$ тыс. руб.

Экономический эффект применения традиционной технологии горячей регенерации: $\mathcal{E}_2 = 430 \cdot 0,941870 - 353 = 52,00$ тыс. руб.

Ожидаемый экономический эффект от применения стабилизатора «ANT» за счет низкой стоимости асфальтогранулята составляет 169,9 тыс. рублей на тонну асфальтобетонной смеси, или 39,5 % по сравнению с традиционным асфальтобетоном типа Б, а при приготовлении горячего регенерированного асфальтобетона по традиционной технологии – 52 тыс. рублей на тонну асфальтобетонной смеси или 12,09 %. Следовательно, использование стабилизатора «ANT» в данном случае оправдано технически и экономически.



Заключение

1) Несмотря на значительный рост прочностных свойств, при старении асфальтобетона наблюдается значительное снижение таких важных свойств, как усталостная долговечность и коррозионная стойкость. Что является следствием изменения группового состава битума - испарением масел, придающим битуму эластичность.

2) Результаты испытаний горячего регенерированного асфальтобетона, приготовленного по традиционной технологии, не соответствуют требованиям СТБ1033-2004 предъявляемым к асфальтобетону типа Б I марки. Введение в состав асфальтобетона типа Б 20% асфальтогранулята (состаренного асфальтобетона типа ЩМБг-I/2.55) изменяет физико-механические свойства горячего регенерированного асфальтобетона: значительно увеличивает прочностные свойства, но в то же время снижается значение коэффициента морозостойкости. Рост предела прочности на растяжение при расколе при 0° С вызван повышением вязкости асфальтовяжущего вещества, что в свою очередь является результатом старения вяжущего.

3) По результатам определения средней плотности, водонасыщения образцов уплотненных при разной температуре и по кривым уплотнения можно сделать вывод, что оптимальной температурой уплотнения теплого регенерированного асфальтобетона с применением стабилизатора «ANT» является температура 80-90° С.

4) Теплый регенерированный асфальтобетон с применением стабилизатора «ANT» не соответствует требованиям СТБ1033-2004 предъявляемым к асфальтобетону типа Б I марки по показателю морозостойкость. Введение в асфальтогранулят (состаренный асфальтобетон типа ЩМБг-I/2,55) стабилизатора «ANT» уменьшает предел прочности на сжатие при 50° С на 62%, уменьшает предел прочности на растяжение при расколе при 0° С на 69%, уменьшает предел прочности на сдвиг при 50° С на 51%, увеличивает максимальную относительную деформацию при трехточечном изгибе при 20° С на 46%, увеличивает коэффициент морозостойкости на 6%, увеличивает коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в агрессивной среде после 28 суток на 9%.

5) Несмотря на положительное влияние стабилизатора «ANT» на свойства регенерированного асфальтобетона, достичь требуемых значений показателей характеризующих долговечность асфальтобетона при низких температурах не удалось. В связи с этим не рекомендуется применение данной технологии регенерации асфальтобетона при устройстве верхних слоев покрытий автомобильных дорог, наиболее подверженных влиянию погодно-климатических факторов.

6) Основываясь на полученных результатах исследований, можно рекомендо-



вать провести производственную апробацию технологии регенерации асфальтобетона с использованием стабилизатора «ANT» при устройстве нижних слоев покрытий и оснований из плотных II и III марки, пористых и высокопористых асфальтобетонов.

7) Ожидаемый экономический эффект от применения стабилизатора «ANT» за счет низкой стоимости асфальтогранулята составляет 169,9 тыс. рублей на тонну асфальтобетонной смеси, или 39,5 % по сравнению с традиционным асфальтобетоном типа Б, а при приготовлении горячего регенерированного асфальтобетона по традиционной технологии – 52 тыс. рублей на тонну асфальтобетонной смеси или 12,09 %. Следовательно, использование стабилизатора «ANT» в данном случае оправдано технически и экономически.

