

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

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
государственного предприятия
«БелдорНИИ»


Е.В.Рокало
« 11 » 2025 г.

ОТЧЕТ

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРЕПАРАТА «Реасфальтант» НА СВОЙСТВА
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ЦМБг15-П/2,3 СТБ 1033-2016
(договор № 436-2025 от 24.06.2025)

Начальник отраслевой
дорожной лаборатории


С.В.Кабак

Минск 2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Начальник отдела
асфальтобетона и
дорожных технологий


С.А.Тимофеев

Заместитель начальника
отдела асфальтобетона и
дорожных технологий


Д.В.Кошелев

Ведущий инженер
отдела асфальтобетона и
дорожных технологий


А.Ф.Кривошей

1. Сравнительные исследования физико-механических свойств асфальтобетонных смесей ЩМБг15-II/2,3 СТБ 1033-2016

Для проведения исследований, с целью определения влияния обработки асфальтогранулята водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» на технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетонных смесей, содержащих асфальтогранулят, в лабораторных условиях были подобраны следующие составы и приготовлены три пробы асфальтобетонных смесей ЩМБг15-II/2,3:

Проба № 1 - контрольный состав асфальтобетонной смеси, без добавления асфальтогранулята.

Проба № 2 - с содержанием 30 % асфальтогранулята Аг10 по СТБ 1705-2015.

Проба № 3 - с содержанием 30 % асфальтогранулята АГ 10 по СТБ 1705-2015, обработанного водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» при норме расхода воды 7% и «РеасфальтАНТ» - 0,02 % от массы асфальтогранулята.

Зерновые составы исходных материалов представлены в таблице 1. Составы проб асфальтобетонных смесей представлены в таблице 2. Зерновые составы проб асфальтобетонных смесей представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Зерновые составы исходных материалов

Наименование материала	Содержание зерен, %, на ситах, мм									
	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Щебень фр. 5/10	0,0	5,6	85,9	7,5	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	0,4
Асфальтогранулят Аг10 (после удаления вяжущего методом выжигания)	2,4	3,3	14,0	11,6	9,5	17,0	17,7	15,2	3,9	5,4
Отсев дробления	0,0	0,6	7,5	22,1	11,8	12,9	10,7	12,3	7,9	14,2
Минеральный порошок	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	3,5	16,0	79,0

Содержание вяжущего в составе асфальтогранулята Аг 10 составляет 5,3 % по массе, сверх 100 % минеральной части.

Таблица 2 – Состав проб асфальтобетонных смесей

Наименование материала	Содержание в смеси, % по массе		
	Проба № 1 (контрольная)	Проба № 2 (30 % Аг 10)	Проба № 3 (30 % Аг 10 + ANT)
Щебень по ГОСТ 8267-93, РУПП «Гранит» фр. 5/10 мм	45	36	36
Асфальтогранулят АГ 10 по СТБ 1705-2015	-	30	30
Отсев из материалов дробления горных пород по ТУ ВУ 200161167.003-2010, РУПП «Гранит»	50	27	27
Минеральный порошок, неактивированный МП-2 по ГОСТ 32761-2014, ОАО «Доломит»	5	7	7
Битум дорожный 70/100 по ТУ ВУ 400091131.009-2011, СТБ EN 12591-2010, ОАО «Мозырский НПЗ» (сверх 100 % минеральной части)	5,6	4,0	4,0
Общее содержание вяжущего с учетом вяжущего асфальтогранулята Аг10 (сверх 100 % минеральной части)		5,6	5,6

Таблица 3 – Зерновые составы проб асфальтобетонных смесей

Шифр пробы асфальтобетонной смеси	Проходы через сита с размером, мм, %, по массе								
	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Проба № 1 (контрольная)	100,0	97,2	54,8	40,4	34,3	27,8	22,4	16,1	11,2
Проба № 2 (30 % Аг 10)	99,3	96,1	58,9	46,8	40,7	32,0	23,8	15,6	11,1
Проба № 3 (30 % Аг 10 + ANT)	99,3	96,1	58,9	46,8	40,7	32,0	23,8	15,6	11,1
Требования СТБ 1033-2016	80-100	65-100	50-65	38-65	28-65	20-65	14-40	9-23	6-12

Приготовление асфальтобетонной смеси ЦМБГ 15-II/2,3, с использованием Аг 10 (Проба № 2) производилось по следующей методике:

- дозировка, согласно запроектированному составу асфальтобетонной смеси, минеральных материалов (без минерального порошка) и асфальтогранулята, их совместный нагрев до температуры 160 °С с последующим смешением в лабораторном смесителе (после нагревания и перемешивания производится проверка возможности рассева на контрольных ситах);

- дозирование требуемого количества минерального порошка и битума;

- совместный нагрев до температуры 160 °С всей смеси и перемешивание в

лабораторном смесителе.

Приготовление асфальтобетонной смеси ЦМБГ 15-II/2,3, с использованием Аг 10 предварительно обработанного водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» (Проба № 3), производилось по следующей методике:

- обработка асфальтогранулята водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» при норме расхода воды 7 % и «РеасфальтАНТ» 0,02% от его массы, выдерживание в течение не менее 12 часов при нормальных условиях;

- дозировка, согласно запроектированному составу асфальтобетонной смеси, минеральных материалов (без минерального порошка) и обработанного асфальтогранулята, их совместный нагрев до температуры 160 °С с последующим смешением в лабораторном смесителе (после нагревания и перемешивания производится проверка возможности отсева на контрольных ситах);

- дозирование требуемого количества минерального порошка и битума;

- совместный нагрев до температуры 160°С всей смеси и перемешивание в лабораторном смесителе.

Далее проводились испытания образцов проб №№ 1, 2 и 3 по показателям согласно программе испытаний по методике СТБ 1115-2013. Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний асфальтобетонных смесей

Наименование показателя	Шифр пробы асфальтобетонной смеси			Значение показателя установленное ТНПА
	Проба № 1 (контрольная)	Проба № 2 (30 % Аг 10)	Проба № 3 (30 % Аг 10 + АНТ)	
Средняя плотность, г/см ³	2,49	2,49	2,50	Не нормируется
Водонасыщение, % по объему	1,7	1,1	0,7	1,0-4,0
Набухание, % по объему	0,0	0,0	0,0	Не более 1,0
Остаточная пористость, % по объему	3,0	2,8	2,6	2,5-5,0
Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа	1,6	2,4	1,9	Не менее 1,0
Предел прочности при сдвиге при 50 °С, МПа	2,40	2,64	2,59	Не менее 2,3
Предел прочности при растяжении при 0 °С, МПа	3,0	3,8	3,5	1,5-3,5

Результаты горячего отсева минеральной части асфальтобетонных смесей, содержащих асфальтогранулят, представлены на рисунках 1-4.



а)



б)

Рисунок 1 – Остаток минеральных частиц на сите с диаметром отверстий 10 мм после горячего отсева минеральной части проб асфальтобетонных смесей:

а) проба № 2 (30 % Аг 20), б) проба № 3 (30 % Аг 20 + АНТ)



а)



б)

Рисунок 2 – Остаток минеральных частиц на сите с диаметром отверстий 5 мм после горячего отсева минеральной части проб асфальтобетонных смесей:

а) проба № 2 (30 % Аг 20), б) проба № 3 (30 % Аг 20 + АНТ)



а)



б)

Рисунок 3 – Остаток минеральных частиц на сите с диаметром отверстий 2,5 мм после горячего отсева минеральной части проб асфальтобетонных смесей:

а) проба № 2 (30 % Аг 20), б) проба № 3 (30 % Аг 20 + АНТ)



а)



б)

Рисунок 4 – Остаток минеральных частиц крупностью менее 2,5 мм после горячего отсева минеральной части проб асфальтобетонных смесей:

а) проба № 2 (30 % Аг 20), б) проба № 3 (30 % Аг 20 + АНТ)

По результатам исследования технологических и физико-механических свойств проб асфальтобетонных смесей можно сделать следующие выводы:

- при горячем отсева минеральной части асфальтобетонной смеси с содержанием 30 % Аг 20 (проба № 2) затруднено отделение частиц крупностью более 2,5 мм от частиц крупностью менее 2,5 мм, так как происходит слипание более мелких частиц в коагуляционные структуры крупнее 2,5 мм, что не позволяет определить точную массу фракции размером 2,5-5,0 мм. Это может привести к проблемам с точностью дозирования

компонентов при производстве данной асфальтобетонной смеси на заводе.

- при горячем расसेве асфальтобетонной смеси с содержанием 30 % Аг 10 обработанного препаратом «РеасфальтАНТ» (проба № 3) возможно разделение всех контрольных фракций минеральной части.

- введение в состав асфальтобетонной смеси ЩМБг15-II/2,3 асфальтогранулята Аг 10 СТБ 1705-2015 в количестве 30 % по массе (проба № 2) приводит к снижению показателей водонасыщения и остаточная пористость и росту прочностных свойств: предела прочности при сжатии при 50 °С – на 50,0 %, предела прочности при сдвиге при температуре 50 °С – на 10,0 %, предела прочности на растяжение при температуре 0 °С – на 26,7 % по сравнению со свойствами асфальтобетонной смеси, приготовленной без применения асфальтогранулята. Причем показатель предел прочности на растяжение при температуре 0 °С не соответствует требованиям СТБ 1033-2016 и имеет значение – 3,8 МПа, при нормативном значении 1,5-3,5 МПа.

- введение в состав асфальтобетонной смеси ЩМБг15-II/2,3 асфальтогранулята Аг 10 СТБ 1705-2015, обработанного водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» 0,02 % совместно с водой 7%, в количестве 30 % по массе (проба № 3) приводит к снижению показателей водонасыщения и остаточной пористости, а также росту прочностных свойств: предела прочности при сжатии при 50 °С – на 18,8 %, предела прочности при сдвиге при температуре 50 °С – на 7,9 %, предела прочности на растяжение при температуре 0 °С – на 16,7 % по сравнению со свойствами асфальтобетонной смеси, приготовленной без применения асфальтогранулята. Данная асфальтобетонная смесь соответствует требованиям СТБ 1033-2016.

2. Сравнительные исследования проб асфальтобетонных смесей ЩМБг15-П/2,3 СТБ 1033-2016, при лабораторном старении, изготовленных с использованием препарата «РеасфальТАНТ», по критерию усталостной долговечности

Сравнительные исследования усталостных свойств проводились на пробах, представленных в п. 1. Для проведения исследований изготавливались три серии асфальтобетонных образцов.

Образцы, изготавливали в два этапа: на первом этапе с помощью секторного (вальцового) уплотнителя (рисунок 5) изготавливали образцы-плиты размером 410х260х90 мм, на втором этапе из образцов плит с помощью отрезного станка для каменных материалов изготавливали образцы-призмы размером 50х50х410 мм.

Испытания асфальтобетонов на установке четырехточечного изгиба (рисунок 6) проводили согласно ДМД 33200.031-2024 «Рекомендации по расчету дорожной одежды по критерию усталостной долговечности с учетом ресурсных свойств асфальтобетонов».



Рисунок 5 – Секторный (вальцовый) уплотнитель



Рисунок 6 – Испытательная установка, определяющая усталостные свойства асфальтобетона

Условия проведения испытания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Условия проведения испытания

Наименование показателя	Значение показателя
Критерий нагружения	Постоянная амплитуда относительной деформации
Частота приложения нагрузки, Гц	5
Температура образца, °С	10±1
Амплитуда относительной деформации растяжения, 10 ⁻⁶	Четыре различных амплитуды деформации
Критерий завершения испытания (отказа материала)	Падение значения модуля упругости на 50 %
Количество циклов предварительного нагружения	20

Для построения зависимости относительная деформация растяжения – количество циклов до отказа материала производили четыре испытания при различных деформациях, по четыре образца-призмы на каждую величину деформации.

После проведения испытаний вычисляли среднее арифметическое значения количества циклов до отказа материала для каждой относительной деформации растяжения.

Далее проводили регрессионный анализ полученных данных используя зависимость:

$$N = C \cdot \varepsilon^m \quad (1)$$

где N – число циклов приложения расчетной нагрузки до отказа материала по критерию усталости;

C и m – постоянные величины, получаемые в лаборатории при испытании конкретного асфальтобетона;

ε – амплитуда относительной деформация растяжения.

Далее вычисляли коэффициент детерминации R^2 по формуле:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{N}_i - \bar{N})^2}{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}, \quad (2)$$

где n – количество проведенных испытаний при различных относительных деформациях растяжения;

$\hat{N}_i$ – значение числа циклов приложения нагрузки до отказа, полученное из регрессионного выражения при относительной деформации растяжения i -го испытания;

$\bar{N}$ – среднее арифметическое значение числа циклов приложения нагрузки всех испытаний;

N_i – результат i -го испытания.

Испытания проводили с учетом того, что коэффициент детерминации должен быть более 0,75.

Далее вычисляли количество циклов приложения нагрузки до отказа материала при относительной деформации растяжения 200 мкм/м по зависимостям, полученным при регрессионном анализе экспериментальных данных.

Результаты исследований представлены в таблице 6 и на рисунке 7.

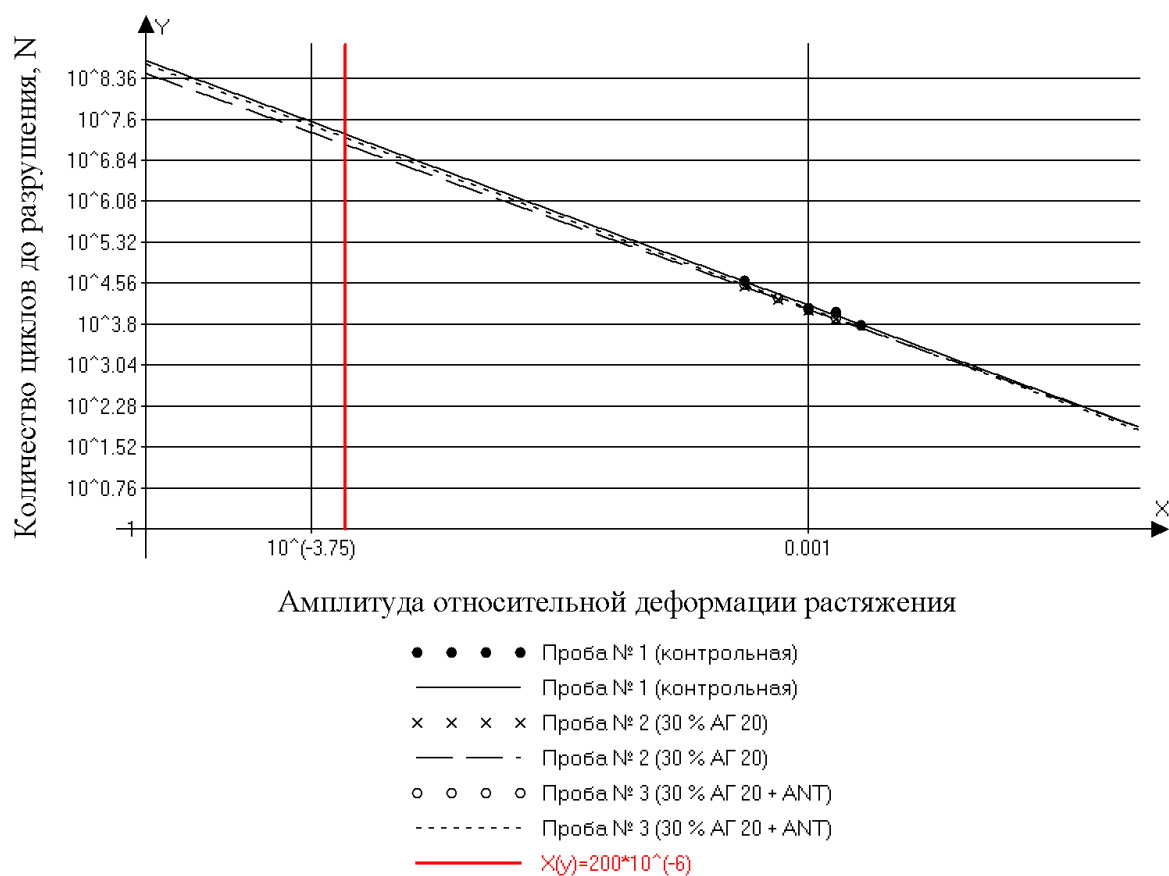


Рисунок 7 - Зависимости количества циклов работы до отказа от амплитуды относительной деформации для проб асфальтобетонных смесей

Таблица 6 – Результаты исследования усталостных свойств проб асфальтобетонных смесей

Наименование показателя	Шифр пробы асфальтобетонной смеси											
	Проба № 1 (контрольная)				Проба № 2 (30 % Аг 10)				Проба № 3 (30 % Аг 10 + АНТ)			
Относительная деформация при растяжении при проведении испытания, мкм/м	800	1000	1100	1200	800	900	1000	1100	800	900	1000	1100
Начальный модуль упругости, МПа	6095	6054	6028	6008	7809	7640	7556	7435	7624	7598	7484	7422
Число циклов до снижения модуля упругости на 50 % (отказа материала)	40805	12436	10770	6042	32011	18260	11244	8031	34564	19558	11962	8230
Коэффициент регрессии С	3,44*10 ⁻¹⁰				8,48*10 ⁻¹⁰				3,14*10 ⁻¹⁰			
Коэффициент регрессии m	-4,54				-4,38				-4,53			
Коэффициент детерминации R ²	0,977				0,981				0,978			
Количество циклов до отказа материала при относительной деформации 200 мкм/м	21 376 324				13 536 032				18 128 418			

По результатам исследований проб асфальтобетонных смесей по критерию усталостной долговечности можно сделать следующие выводы:

- при введении в состав асфальтобетонной смеси ЦМБг15-II/2,3 асфальтогранулята Аг 10 в количестве 30 % по массе происходит увеличение модуля упругости на 24,6 % и снижение усталостной долговечности на 36,6 % при относительной деформации 200 мкм/м по сравнению со смесью без применения асфальтогранулята.

- обработка асфальтогранулята препаратом «РеасфальтАНТ» в количестве 0,02 %, при применении его в составе асфальтобетонной смеси, снижает модуль упругости и позволяет повысить ее усталостную долговечность с 13,5 млн. циклов воздействия нагрузки до 18,1 млн. циклов при относительной деформации 200 мкм/м по сравнению с асфальтобетонной смесью с необработанным асфальтогранулятом.

Закключение

По результатам проведения сравнительных исследований трех проб асфальтобетонных смесей ЦМБГ15-II/2,3: проба № 1 – контрольная, проба № 2 (с содержанием 30 % асфальтогранулята Аг 10 по СТБ 1705-2015) и проба № 3 (с содержанием 30 % асфальтогранулята Аг 10 по СТБ 1705-2015, обработанного водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» при норме расхода воды 7% и «РеасфальтАНТ» - 0,02 % от массы асфальтогранулята) можно сделать следующие выводы:

1) При горячем расसेве минеральной части асфальтобетонной смеси с содержанием 30 % Аг 10 (проба № 2) затруднено разделение частиц крупностью более 2,5 мм от частиц крупностью менее 2,5 мм, так как происходит слипание более мелких частиц в коагуляционные структуры крупнее 2,5 мм, что не позволяет определить точную массу фракции размером 2,5-5,0 мм. Это может привести к проблемам с точностью дозирования компонентов при производстве данной асфальтобетонной смеси на АБЗ.

2) При горячем расसेве асфальтобетонной смеси с содержанием 30 % Аг 10, обработанного водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» (проба № 3), возможно разделение всех контрольных фракций минеральной части. Визуально определено, что битум с АГ 10 равномерно перераспределился по поверхности всех минеральных частиц.

3) Введение в состав асфальтобетонной смеси ЦМБГ15-II/2,3 асфальтогранулята Аг 10 СТБ 1705-2015 в количестве 30 % по массе (проба № 2) приводит к снижению показателей водонасыщения и остаточной пористости, а также росту следующих прочностных свойств: предела прочности при сжатии при 50 °С – на 50,0 %, предела прочности при сдвиге при температуре 50 °С – на 10,0 %, предела прочности на растяжение при температуре 0 °С – на 26,7 % по сравнению со свойствами асфальтобетонной смеси, приготовленной без применения асфальтогранулята. Причем показатель предел прочности на растяжение при температуре 0 °С не соответствует требованиям СТБ 1033-2016 и имеет значение – 3,8 МПа, при нормативном значении 1,5-3,5 МПа.

4) Введение в состав асфальтобетонной смеси ЦМБГ15-II/2,3 асфальтогранулята Аг 10 СТБ 1705-2015, обработанного водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» в количестве 30 % по массе (проба № 3), приводит к снижению показателей водонасыщения и остаточной пористости, а также росту прочностных свойств: предела прочности при

сжатии при 50 °С – на 18,8 %, предела прочности при сдвиге при температуре 50 °С – на 7,9 %, предела прочности на растяжение при температуре 0 °С – на 16,7 % по сравнению со свойствами асфальтобетонной смеси, приготовленной без применения асфальтогранулята. Данная асфальтобетонная смесь соответствует требованиям СТБ 1033-2016.

5) При введении в состав асфальтобетонной смеси ЩМБг15-II/2,3 асфальтогранулята Аг 10 в количестве 30 % по массе (проба № 2) происходит увеличение модуля упругости на 24,6 % и снижение усталостной долговечности на 36,6 % при относительной деформации 200 мкм/м по сравнению со смесью без применения асфальтогранулята.

6) Обработка асфальтогранулята водным раствором препарата «РеасфальтАНТ», при применении его в составе асфальтобетонной смеси, снижает модуль упругости и позволяет повысить ее усталостную долговечность с 13,5 млн. циклов воздействия нагрузки до 18,1 млн. циклов при относительной деформации 200 мкм/м по сравнению с асфальтобетонной смесью с необработанным асфальтогранулятом.

Таким образом можно сделать вывод о положительном влиянии предварительной обработки асфальтогранулята водным раствором препарата «РеасфальтАНТ» (при норме расхода воды 7% и «РеасфальтАНТ» - 0,02 % от массы асфальтогранулята) на свойства асфальтобетонных смесей, приготовленных с его применением.