

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ НА СТРУКТУРНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF ASPHALT CONCRETE MIX COMPONENTS ON ASPHALT CONCRETE STRUCTURAL STABILITY

Д. Л. Сериков,

начальник отдела
республиканского дочернего
унитарного предприятия
«Белорусский дорожный
научно-исследовательский
институт «БелдорНИИ»,
г. Минск, Беларусь

С. Е. Кравченко,

кандидат технических наук,
заведующий кафедрой
«Строительство и эксплуатация
дорог» Белорусского
национального технического
университета,
г. Минск, Беларусь

В статье приведены результаты испытаний асфальтобетона по методикам, максимально моделирующим реальные условия нагружения и деформирования дорожных покрытий под действием транспортной нагрузки и температурных колебаний. Представлены результаты влияния различных типов вяжущего, толщины битумных пленок, размера и формы минерального заполнителя на структурную устойчивость асфальтобетона к температурному трещинообразованию и колееобразованию.

The article presents the results of the tests of asphalt concrete by methods maximum simulated real conditions of road pavement loading and deformation under the effect of traffic loads and temperature fluctuations. The results of the effect of using of different types of binder, the thickness of the bitumen films, the size and shape of mineral aggregate on asphalt concrete structural stability to thermal cracking and rutting are presented.

ВВЕДЕНИЕ

Асфальтобетон является одним из наиболее распространенных дорожно-строительных материалов, используемых для устройства дорожных покрытий. Однако по мере роста нагрузок на ось автомобиля все более ощутимо проявляются недостатки применяемых асфальтобетонов. Автотранспортный комплекс Республики Беларусь активно развивается, разрабатываются новые виды автотранспортных средств, и если общий тоннаж автомобилей сохраняется в пределах 18–38 т, то допустимая нагрузка на ось с 10 т увеличилась до 11,5 т. При высоких температурах покрытия в летний период (до 60 °С) такое повышение нагрузки ведет к активному нарастанию необратимых сдвиговых деформаций. Кроме того, увеличилась и интенсивность транспортных потоков. В первую очередь это касается автомагистралей, входящих в состав международных транспортных коридоров.

Обеспечение требуемой трещиностойкости дорожных одежд является одним из основных условий продления их срока службы, и как следствие, сокращения затрат на ремонтные работы. Анализируя основные причины образования трещин в асфальтобетонных покрытиях, можно отметить, что одним из эффективных путей решения этой проблемы является повышение трещиностойкости самого асфальтобетона,

которая обеспечивается соответствующей его структурой, характеризуемой определенными физико-механическими и реологическими свойствами.

Учитывая вышесказанное, составы асфальтобетонных смесей, предназначенные для дорог с высокими интенсивностью движения и нагрузкой на ось транспортных средств, следует разрабатывать с использованием более сложных и точных методов, позволяющих определять эксплуатационные свойства асфальтобетона, характеризующие реальную работоспособность дорожного покрытия в конкретных условиях, на стадии проектирования

В результате были разработаны методики [1–3], максимально моделирующие условия нагружения и деформирования дорожных покрытий под действием транспортной нагрузки и температурных колебаний, и проведены исследования влияния компонентов асфальтобетонной смеси на структуру асфальтобетона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводили на плотном асфальтобетоне типа А и щебеночно-мастичном асфальтобетоне типа С.

Составы асфальтобетонов представлены в таблице 1.

Все смеси и образцы изготовлены в лабораторных условиях по стандартной методике СТБ 1115 [4]. Асфальтобетонные смеси приготавливали на вязких битумах марок БНД 60/90, БНД 90/130 и модифицированном вяжущем БМА 100/130. Физико-механические свойства вяжущих приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства вяжущих

Марка вяжущего	Температура размягчения по КиШ, °С	Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25 °С
БНД 60/90	49	75
БНД 90/130	46	100
БМА 100/130	65	117

Испытания проводились по методикам, разработанным в [3]. Проводились исследования влияния различных видов вяжущего, толщины битумных пленок, размера и формы минерального заполнителя на структурную устойчивость асфальтобетона.

Таблица 1 – Составы асфальтобетонов

Шифр состава	Тип асфальтобетона	Марка вяжущего	Содержание в щебне зерен лещадной формы, %	Содержание компонентов в асфальтобетонной смеси, %						
				Щебень фракции, мм		Песок	Отсев	МП	Вяжущее	Стабилизирующая добавка
				5-10	10-20					
1-А	А	БНД 90/130	25	53	0	20	20	7	5,3	0
2-А	А	БНД 60/90	25	53	0	20	20	7	5,3	0
3-А	А	БМА 100/130	25	53	0	20	20	7	5,3	0
4-А	А	БНД 90/130	25	53	0	20	20	7	5,1	0
5-А	А	БНД 90/130	25	53	0	20	20	7	5,5	0
6-А	А	БНД 90/130	10	53	0	20	20	7	5,3	0
7-А	А	БНД 90/130	40	53	0	20	20	7	5,3	0
8-А	А	БНД 90/130	10	20	33	20	20	7	5,2	0
9-А	А	БНД 90/130	40	20	33	20	20	7	5,2	0
10-А	А	БНД 90/130	25	20	33	20	20	7	5,2	0
11-С	С	БНД 90/130	25	70	0	0	23	7	6,3	0,3
12-С	С	БНД 60/90	25	70	0	0	23	7	6,3	0,3
13-С	С	БМА 100/130	25	70	0	0	23	7	6,3	0,3
14-С	С	БНД 90/130	25	70	0	0	23	7	6,0	0,3
15-С	С	БНД 90/130	25	70	0	0	23	7	6,6	0,3
16-С	С	БНД 90/130	10	70	0	0	23	7	6,3	0,3
17-С	С	БНД 90/130	40	70	0	0	23	7	6,3	0,3
18-С	С	БНД 90/130	10	10	60	0	23	7	6,2	0,3
19-С	С	БНД 90/130	40	10	60	0	23	7	6,2	0,3
20-С	С	БНД 90/130	25	10	60	0	23	7	6,2	0,3

Исследование влияния различных видов вяжущего на структурную устойчивость асфальтобетона

Исследование влияния вида вяжущего на структурную устойчивость асфальтобетона проводили на составах 1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 11-С, 12-С, 13-С, 14-С, 15-С (таблица 1). При приготовлении смесей применяли битум БНД 60/90, БНД 90/130, а также модифицированное вяжущее БМА 100/130. Кроме влияния вида вяжущего, определяли также зависимость устойчивости структуры асфальтобетона от толщины битумных пленок на составах 1-А, 4-А, 5-А, 11-С, 14-С и 15-С (таблица 3).

Таблица 3 – Величины модулей битума асфальтобетонов

Шифр состава (согласно таблице 1)	Тип асфальтобетона	Марка вяжущего	Содержание вяжущего в смеси, %	Модуль битума (толщина битумной пленки)
1-А	А	БНД 90/130	5,3	2,503
2-А		БНД 60/90	5,3	2,503
3-А		БМА 100/130	5,3	2,503
4-А		БНД 90/130	5,1	2,409
5-А		БНД 90/130	5,5	2,598
11-С	С	БНД 90/130	6,3	2,979
12-С		БНД 60/90	6,3	2,979
13-С		БМА 100/130	6,3	2,979
14-С		БНД 90/130	6,0	2,837
15-С		БНД 90/130	6,6	3,121

Результаты исследования влияния различных видов вяжущего и толщины битумных пленок на устойчивость структуры асфальтобетона к температурному трещинообразованию представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний асфальтобетона на устойчивость его структуры к температурному трещинообразованию

Шифр состава (согласно таблице 1)	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-5}$ в интервале температур, °С			Температурные напряжения δ , МПа, при температуре 0 °С
	0 – минус 10	минус 10 – минус 20	минус 20 – минус 30	
1-А	2,9	2,5	2,3	1,45
2-А	2,7	2,4	2,4	1,93
3-А	2,9	2,4	2,3	0,90
4-А	2,7	2,1	1,9	1,35
5-А	3,0	2,6	2,5	1,50
11-С	3,0	2,9	2,8	1,40
12-С	2,8	2,6	2,6	1,86
13-С	3,1	3,0	2,9	0,89
14-С	2,8	2,7	2,6	1,31
15-С	3,1	3,0	3,0	1,45

Зависимость коэффициента температурного расширения асфальтобетона от содержания вяжущего показана на рисунках 1 и 2.

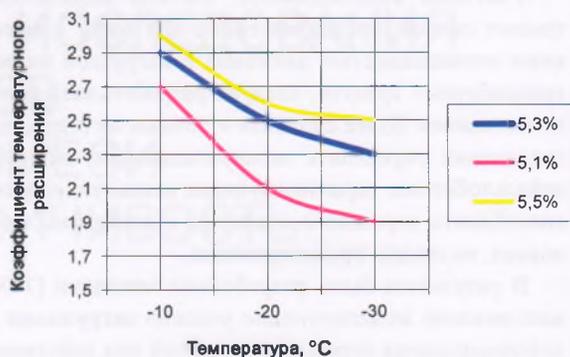


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента температурного расширения асфальтобетона типа А от содержания вяжущего и температуры

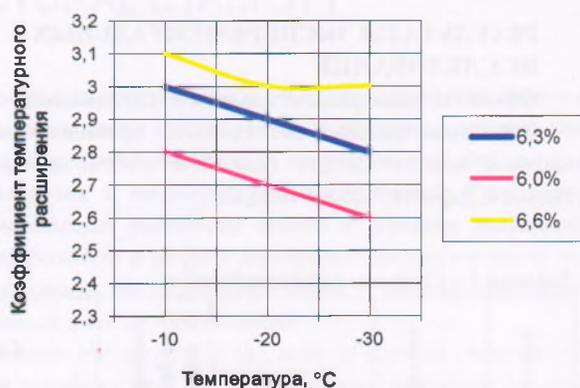


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента температурного расширения асфальтобетона типа С от содержания вяжущего и температуры

Зависимость температурного напряжения в асфальтобетоне типов А и С от вида вяжущего показана на графиках (рис. 3 и 4).

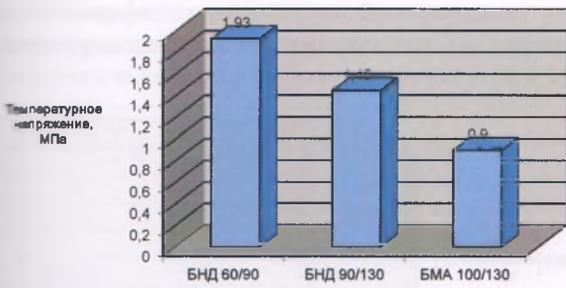


Рисунок 3 – Зависимость температурного напряжения в асфальтобетоне типа А от вида вяжущего

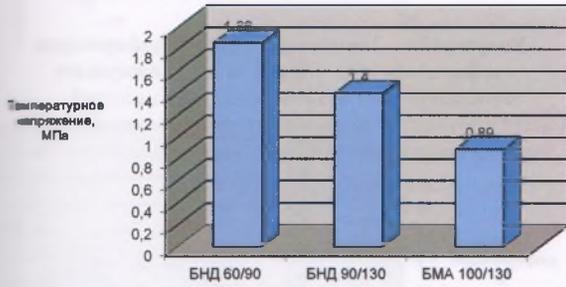


Рисунок 4 – Зависимость температурного напряжения в асфальтобетоне типа С от вида вяжущего

Результаты исследования влияния различных видов вяжущего на устойчивость структуры асфальтобетона к колееобразованию представлены в таблице 5.

Графики зависимости деформации в образцах асфальтобетона от количества проходов колеса представлены на рисунках 5–8.

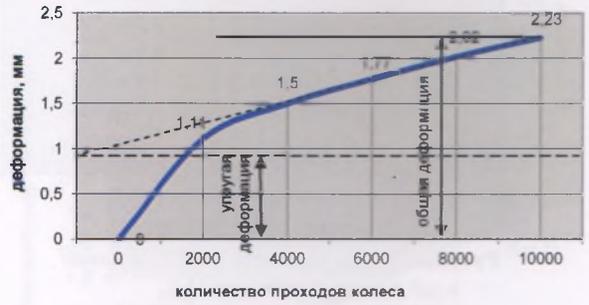


Рисунок 5 – Зависимость глубины колеи в асфальтобетоне 1-А от количества проходов колеса



Рисунок 6 – Зависимость глубины колеи в асфальтобетоне 3-А от количества проходов колеса

Таблица 5 – Результаты испытаний асфальтобетона на устойчивость его структуры к колееобразованию

Шифр состава (согласно таблице 1)	Деформация после числа проходов, мм					Упругая деформация, мм	Общая деформация D_0 , %
	2000	4000	6000	8000	10000		
1-А	1,11	1,50	1,77	2,02	2,23	0,90	4,46
2-А	1,05	1,42	1,63	1,82	2,02	0,90	4,04
3-А	1,03	1,39	1,61	1,80	2,00	0,85	4,00
4-А	1,02	1,45	1,67	1,90	2,17	0,85	4,34
5-А	1,03	1,57	1,81	2,08	2,27	0,95	4,54
11-С	0,82	1,02	1,07	1,10	1,14	0,95	2,28
12-С	0,80	0,95	1,05	1,08	1,12	0,85	2,24
13-С	0,76	0,93	1,03	1,06	1,09	0,80	2,18
14-С	0,79	1,00	1,05	1,08	1,12	0,95	2,24
15-С	0,87	1,11	1,17	1,21	1,25	1,02	2,5

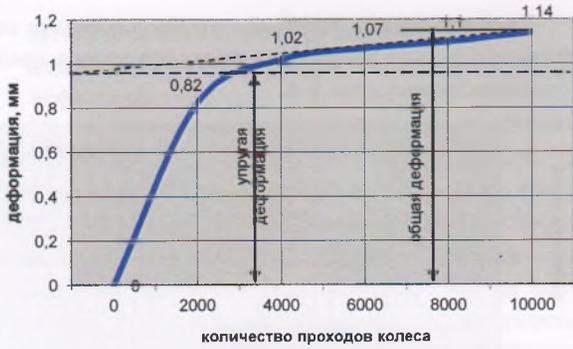


Рисунок 7 – Зависимость глубины колеи в асфальтобетоне 11-С от количества проходов колеса

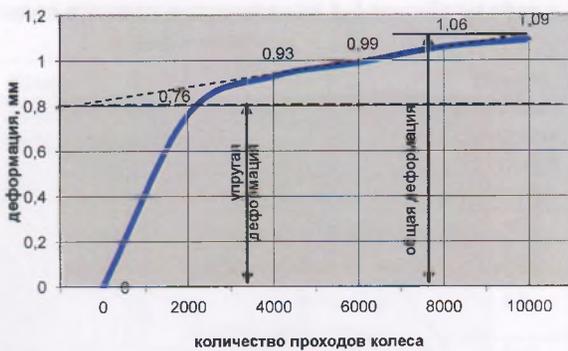


Рисунок 8 – Зависимость глубины колеи в асфальтобетоне 13-С от количества проходов колеса

Зависимость общей деформации асфальтобетона типов А и С от содержания вяжущего показана на рисунках 9 и 10.

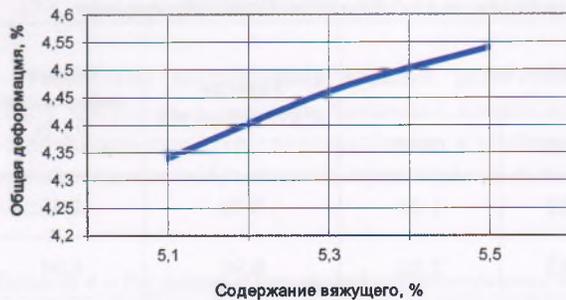


Рисунок 9 – Зависимость общей деформации асфальтобетона типа А от содержания вяжущего

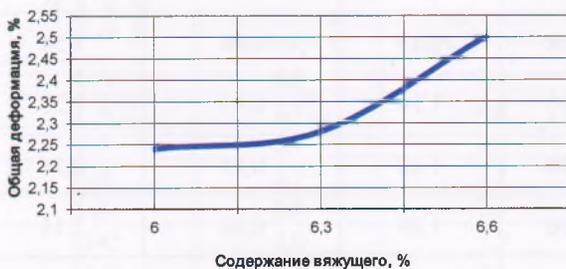


Рисунок 10 – Зависимость общей деформации асфальтобетона типа С от содержания вяжущего

Зависимость общей деформации асфальтобетона типов А и С от вида вяжущего показана на рисунках 11 и 12.

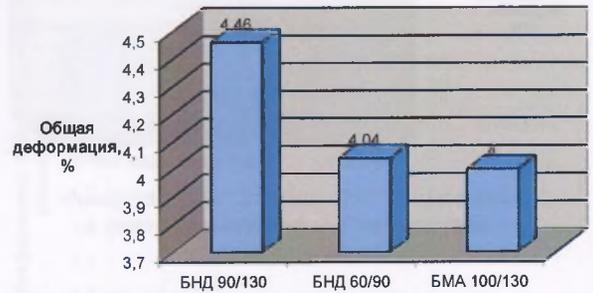


Рисунок 11 – Зависимость общей деформации асфальтобетона типа А от вида вяжущего

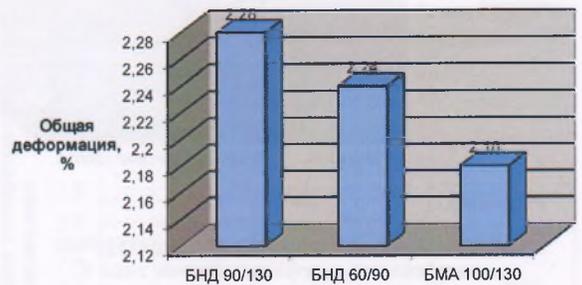


Рисунок 12 – Зависимость общей деформации асфальтобетона типа С от вида вяжущего

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СТРУКТУРНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Исследование влияния минерального заполнителя на структурную устойчивость асфальтобетона проводили на составах 1-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 10-А, 11-С, 16-С, 17-С, 18-С, 19-С и 20-С (таблица 1). При приготовлении смесей применяли щебень фракций 5–10 и 10–20 мм с содержанием зерен пластинчатой и игловатой форм в количестве 10 %, 25 % и 40 %.

Результаты исследования влияния минерального заполнителя на устойчивость структуры асфальтобетона к колееобразованию и трещинообразованию представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Результаты испытаний асфальтобетона на устойчивость его структуры к температурному трещинообразованию

Шифр состава (согласно Таблице 1)	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-5}$ в интервале температур, °С			Температурные напряжения δ , МПа, при температуре 0 °С
	0 – минус 10	минус 10 – минус 20	минус 20 – минус 30	
6-А	2,9	2,5	2,4	1,45
8-А	2,7	2,3	2,2	1,35
16-С	3,0	2,8	2,7	1,40
18-С	2,8	2,7	2,6	1,31

Зависимость коэффициента температурного расширения асфальтобетона от крупности частиц наибольшего заполнителя показана на графиках 13 и 14.

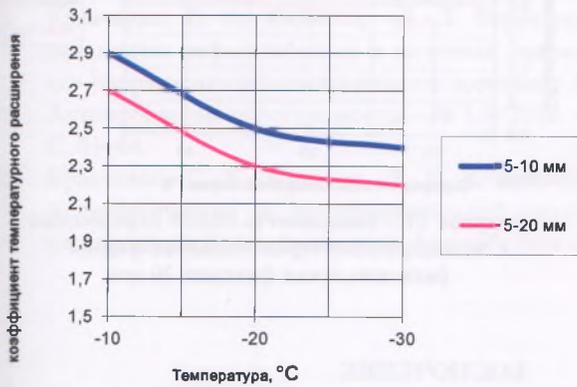


Рисунок 13 – Зависимость коэффициента температурного расширения асфальтобетона типа А от крупности частиц наибольшего заполнителя

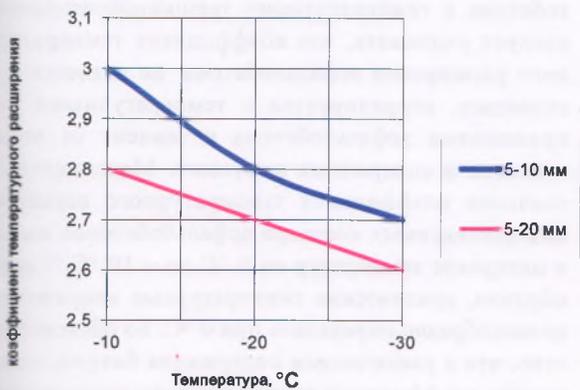


Рисунок 14 – Зависимость коэффициента температурного расширения асфальтобетона типа С от крупности частиц наибольшего заполнителя

Зависимость температурных напряжений от крупности частиц заполнителя представлена на рисунке 15.

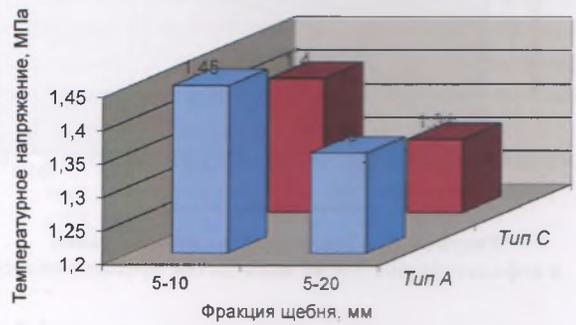


Рисунок 15 – Зависимость температурных напряжений от крупности частиц заполнителя

Графики зависимости устойчивости структуры асфальтобетона к колеобразованию от крупности зерен и содержания зерен лещадной формы показаны на рисунках 16–19.



Рисунок 16 – Зависимость глубины колеи в асфальтобетоне 1-А от количества проходов колеса

Таблица 7 – Результаты испытаний асфальтобетона на устойчивость его структуры к колеобразованию

Шифр состава (согласно таблице 1)	Деформация после количества проходов колеса, мм					Упругая деформация, мм	Общая деформация D_0 , %
	2000	4000	6000	8000	10 000		
1-А	1,11	1,50	1,77	2,02	2,23	0,90	4,46
6-А	1,07	1,45	1,65	1,87	2,07	0,90	4,14
7-А	1,15	1,61	1,98	2,35	2,80	0,75	5,60
8-А	0,85	1,17	1,33	1,48	1,60	0,80	3,20
9-А	0,91	1,29	1,55	1,68	1,79	0,90	3,58
10-А	0,87	1,22	1,36	1,52	1,65	0,87	3,30
11-С	0,82	1,02	1,07	1,10	1,14	0,95	2,28
16-С	0,82	0,96	1,01	1,05	1,10	0,83	2,20
17-С	0,84	1,10	1,17	1,23	1,27	0,90	2,54
18-С	0,75	1,03	1,06	1,09	1,11	0,83	2,22
19-С	0,89	1,15	1,21	1,29	1,33	1,1	2,66
20-С	0,77	1,07	1,09	1,17	1,21	0,95	2,42

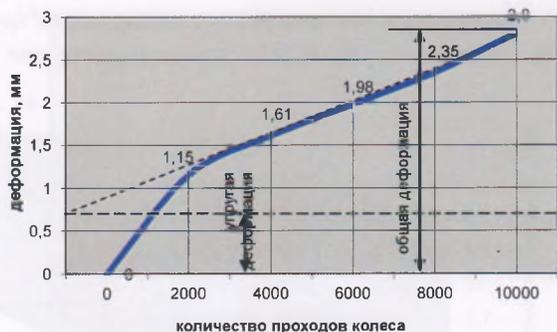


Рисунок 17 – Зависимость глубины колеи в асфальтобетоне 7-А от количества проходов колеса



Рисунок 18 – Зависимость глубины колеи в асфальтобетоне 11-С от количества проходов колеса

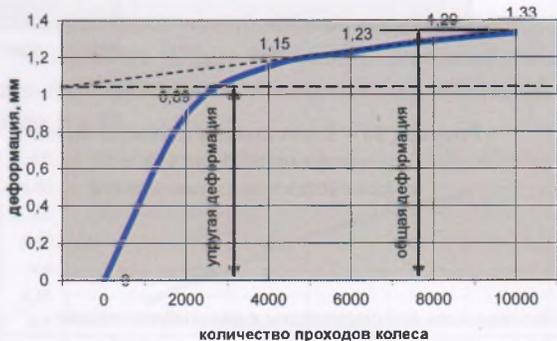


Рисунок 19 – Зависимость глубины колеи в асфальтобетоне 19-С от количества проходов колеса

Зависимость общей деформации от содержания зерен лещадной формы показана на рисунках 20 и 21.

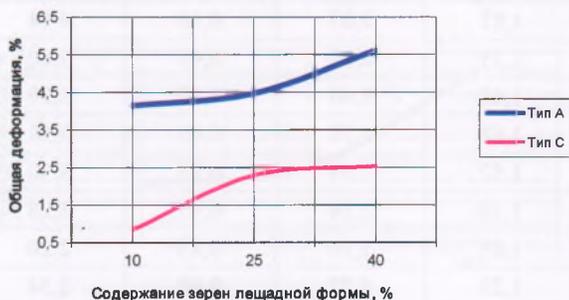


Рисунок 20 – Зависимость общей деформации от содержания зерен лещадной формы (максимальная фракция 10 мм)

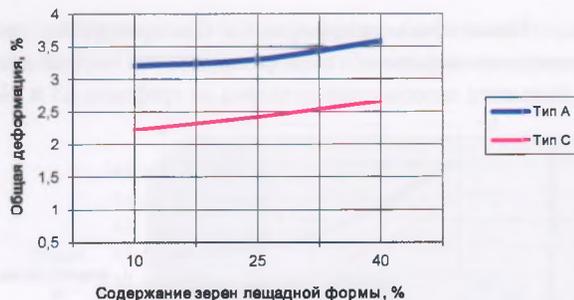


Рисунок 21 – Зависимость общей деформации от содержания зерен лещадной формы (максимальная фракция 20 мм)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировав полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1. При оценке устойчивости структуры асфальтобетона к температурному трещинообразованию следует учитывать, что коэффициент температурного расширения асфальтобетона не является постоянным, коррелируется с температурными напряжениями асфальтобетона и зависит от вида, вязкости и содержания вяжущего. Максимальные значения коэффициента температурного расширения исследуемых составов асфальтобетонов имеет в интервале температур от 0 °С до – 10 °С. Таким образом, критические температурные напряжения целесообразно определять при 0 °С. То обстоятельство, что с увеличением содержания битума повышается коэффициент температурного расширения, свидетельствует о значительном влиянии, которое оказывает свободный битум на деформативную способность асфальтобетона. При одинаковом размере зерен, деформация уменьшается с уменьшением толщины битумной пленки. При одинаковой толщине пленки с увеличением размера зерна температурные напряжения уменьшаются. Полученные экспериментальные данные изменения температурных напряжений во времени при понижении температуры показали, что напряжение в асфальтобетоне при применении вяжущего БМА 100/130 возрастает медленнее.

2. При оценке устойчивости структуры асфальтобетона к колееобразованию результаты экспериментальных исследований показали лучшую сдвигоустойчивость асфальтобетона при применении битума БНД 60/90 и модифицированного вяжущего БМА 100/130. При одинаковой толщине битумной пленки с увеличением размера зерна колееобразование асфальтобетона уменьшается. При увеличении содержания зерен лещадной формы до 40 % склонность асфальтобетона к колееобразованию увеличивается на 10% – 35 %.

**СПИСОК
ИСПОЛЬЗОВАННОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кравченко, С. Е., Сериков, Д. Л. Структурная модель асфальтобетона и методика оценки его напряженно-деформированного состояния // Автомобильные дороги и мосты – № 1. – 2008. – С. 61–64.
2. Кравченко, С. Е., Сериков, Д. Л. К вопросу о теоретической и экспериментальной оценке структурной устойчивости асфальтобетона // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3 (24). – С. 35–40.
3. Исследование и разработка рекомендаций по обеспечению структурной устойчивости асфальтобетона с учетом его напряженно-деформированного состояния в условиях современных транспортных нагрузок : отчет о НИР по теме 06.393.2.2007. – Арх. № 1105.
4. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2013.

Статья поступила в редакцию 25.10.2016.