

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ КАК КРИТЕРИЙ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*LOW-TEMPERATURE STRESS AS CRITERION
OF ASPHALT MIX COMPONENTS IMPACT
ON CRACK RESISTANCE OF ASPHALT COVER*

В статье проанализирован механизм образования низкотемпературных трещин. Представлена методика определения низкотемпературных напряжений. Приводятся результаты исследований влияния компонентов асфальтобетонных смесей на трещиностойкость асфальтобетонных покрытий.

The article covers analysis of low-temperature crack formation mechanism. Technique for determination of low-temperature stress is described. Results of study of asphalt components impact on asphalt cover crack resistance are given.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение требуемой трещиностойкости дорожных одежд является одним из основных условий продления их срока службы и тем самым сокращения затрат на ремонтные работы. Анализируя основные причины образования трещин в асфальтобетонных покрытиях, можно отметить, что одним из эффективных направлений в решении этой проблемы является повышение трещиностойкости самого асфальтобетона, которая обеспечивается его структурой, характеризующейся определенными физико-механическими и реологическими характеристиками. При этом существует значительное количество как внутренних факторов (зерновой состав и крупность заполнителя, тип и количество вяжущего), так и внешних (воздействие транспортной нагрузки и погодноклиматических условий), влияющих на структуру асфальтобетона. Роль этих факторов в образовании трещин в асфальтобетонных покры-

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

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

тиях изучена достаточно глубоко. Следует отметить, что значительные структурные изменения асфальтобетон претерпевает при наличии в нем низкотемпературных растягивающих напряжений, появляющихся при переходе асфальтобетона от вязкоупругого состояния к хрупкому при резких перепадах температур в покрытии. Существующие методики расчета низкотемпературных растягивающих напряжений в асфальтобетоне не отражают реальных условий его работы в покрытии и тем самым не позволяют определить фактические значения указанных напряжений. Последнее обстоятельство обусловлено в том числе и отсутствием учета при расчетах на трещиностойкость теплофизических и реологических свойств составляющих асфальтобетона, которые в свою очередь в значительной степени зависят от типа и качества применяемых вяжущих. Кроме этого, при расчетах низкотемпературных напряжений, возникающих в покрытии, необходимо учитывать теплофизические характеристики верхнего слоя основания, так как между конструктивными слоями дорожной одежды существует сцепление, препятствующее их смещению друг относительно друга, что в определенной степени оказывает влияние на механизм образования низкотемпературных трещин.

Таким образом, разработка методики определения низкотемпературных напряжений, учитывающей теплофизические и реологические свойства составляющих и самого асфальтобетона, позволит обоснованно осуществлять проектирование дорожной одежды и подбор состава асфальтобетонной смеси, достигая при этом максимального срока эксплуатации покрытий автомобильных дорог.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ УЧЕТА МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН

Наблюдение за состоянием дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями показывает, что образование трещин происходит по ряду причин, в том числе и вследствие возникновения низкотемпературных растягивающих напряжений в слоях асфальтобетонных покрытий при резких изменениях их температурного режима, происходящих в отдельные периоды эксплуатации [1].

В свою очередь, величина низкотемпературных растягивающих напряжений в слоях асфальтобетонных покрытий зависит от ряда факторов, в том числе и от степени необратимых изменений физико-механических, реологических и теплофизических свойств асфальтобетона. Механизм образования низкотемпературных трещин можно представить следующим образом: асфальтобетон при охлаждении претерпевает термическую усадку, которой противодействуют его структурные связи, реализуемые в форме растягивающих напряжений, при превышении пороговых значений которых (предел прочности асфальтобетона на растяжения в асфальтобетоне) начинается процесс трещинообразования.

В общем случае вероятность появления трещины в материале покрытия можно оценить следующим коэффициентом запаса прочности

$$K_3 = \frac{R_p}{\sigma_t} \quad (1)$$

где R_p - прочность материала верхнего слоя на растяжение в конкретных условиях его работы в конструкции, МПа;

σ_t - максимальные растягивающие напряжения в покрытии от воздействия внешних факторов, МПа.

Если данный коэффициент больше 1, то конструкцию можно считать в некоторой степени трещиностойкой. В соответствии с (1) повысить трещиностойкость конструкции можно либо увеличив прочность материала покрытия, либо снизив напряжения в нем. При этом следует исходить из того, что основными факторами, влияющими на величину растягивающих напряжений, являются толщины конструктивных

слоев, величина и интенсивность изменения их температуры, а также модули упругости и коэффициенты линейного расширения.

Наиболее интенсивный процесс трещинообразования наблюдается, когда температура покрытия снижается до $5^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}$. Можно предположить, что причиной этого явления являются значительно более высокие скорости охлаждения воздуха и покрытия, наблюдаемые в этот период, и, соответственно, изменения температурной деформативности асфальтобетонного покрытия в данном диапазоне температур, проявляющиеся в снижении пластичности асфальтобетона [2].

Для расчета температурных напряжений и деформаций в первую очередь необходимо иметь данные о величине свободных температурных деформаций. Величины этих деформаций характеризуются коэффициентом линейного расширения α_t ,

$$\alpha_t = \frac{1}{\ell_0} \cdot \frac{\Delta \ell}{\Delta t} \quad (2)$$

где ℓ_0 - длина образца при температуре 0°C , см;

$\Delta \ell$ - изменение длины образца при охлаждении, см;

Δt - изменение температуры, $^\circ\text{C}$.

Как показали исследования, выполненные по схеме, разработанной А.М. Богуславским [3], максимальные значения при отрицательных температурах коэффициент линейного расширения имеет в интервале температур от 0°C до минус 10°C (рис. 1). Таким образом, критические температурные напряжения целесообразно определять при 0°C .

Принимая во внимание, что между конструк-

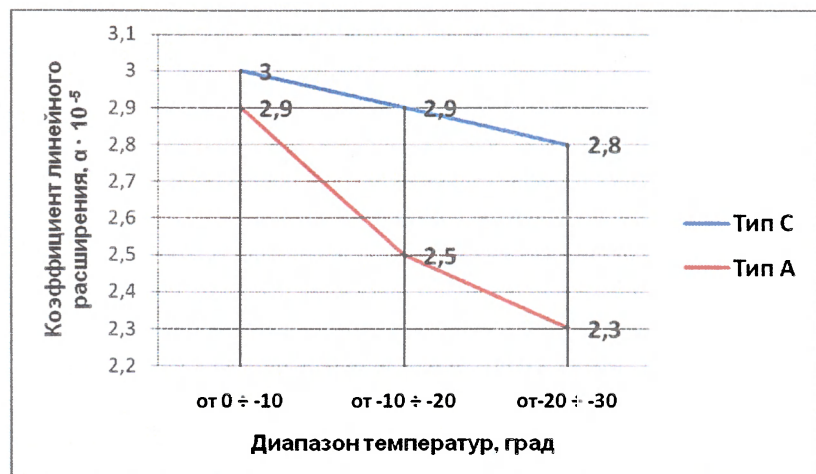


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента линейного расширения плотного асфальтобетона типа А и щебеночно-мастичного асфальтобетона типа С от температуры

тивными слоями дорожной одежды существует сцепление, исключающее смещение их друг относительно друга, для определения температурной деформации покрытия в расчетной формуле следует учитывать разность коэффициентов линейного расширения покрытия и основания ($\alpha_m - \alpha_{ю}$), принятую в предположении, что температурное сжатие покрытия уменьшается за счет сжатия основания.

В качестве основы для определения температурного напряжения в верхнем слое покрытия можно использовать уравнение, приведенное в работе [4].

$$\delta_t = \frac{(\alpha_m - \alpha_{ю}) \cdot (t_1 - t_0) \cdot E \cdot V_{\max}}{(1 - \mu) \cdot V_0} \quad (3)$$

где ($\alpha_m - \alpha_{ю}$) - разность коэффициентов линейного расширения покрытия и основания в интервале температур ($t_1 - t_0$). Для расчетов $\alpha_{ю}$ может быть принято равным ($1,9 \cdot 10^{-5}$) (значение коэффициента линейного расширения щебеночного крупнозернистого горячего пористого асфальтобетона); α_m определяется по схеме испытаний, разработанной А.М. Богуславским;

μ - коэффициент поперечного расширения асфальтобетона, принимается равным 0,1;

$V_{\max}$ - максимальная скорость охлаждения воздуха, наблюдаемая в данной местности при снижении температуры не менее чем на 5 °С, град/ч;

V_0 - равновесная скорость охлаждения, принимается равной 0,4 град/ч;

E - модуль упругости асфальтобетона при 0 °С, МПа.

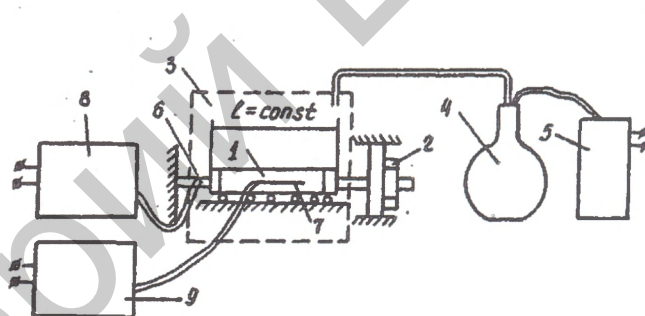
Расчетные значения модуля упругости определяли по методике, разработанной в работе [3] (таблица 1).

При определении температурных напряжений

необходимо учитывать влияние марки вяжущего на релаксацию напряжений. Коэффициент, учитывающий эту зависимость, K_r определяли при испытаниях асфальтобетонных образцов при различных скоростях охлаждения по схеме, разработанной Н.М. Распоповым [6] (рис. 2).

Принцип исследований заключался в регистрации во времени температурных усилий при постоянной длине образца в процессе изменения температуры в камере с заданной скоростью.

Перед началом испытаний в термокамере 3 (рис. 2) создавали требуемую начальную температуру, и после достижения образцом этой температуры по истечении одного часа приступали к проведению эксперимента. Для этого включали устройство 5, задавали требуемую скорость охлаждения и контролировали постоянство дли-



1 - образец; 2 - штурвал для регулирования постоянной длины образца; 3 - термокамера; 4 - сосуд Дьюара с жидким азотом; 5 - устройство, задающее режим подачи жидкого азота; 6 - тензодинамометр; 7 - датчик деформации; 8 - устройство для регистрации усилий; 9 - устройство для контроля и регистрации деформации

Рисунок 2 - Схема определения напряжений при различных скоростях охлаждения

ны образца по прибору 9. В случае сокращения длины образца 1, что происходит за счет податливости тяг динамометра и анкерных устройств, ее доводили до исходного значения с помощью штурвала 2. При этом фиксировали температуру образца и температурные усилия.

Полученные экспериментальные данные изменения температурных напряжений во времени при понижении температуры с различными скоростями (рис. 3) показали, что напряжение

Таблица 1 – Расчетные значения модуля упругости при 0 °С

Тип и марка асфальтобетонной смеси	Модуль упругости, МПа		
	БД 60/90	БД 90/130	БМА 100/130
ЩМСц – I/2,2 по СТБ 1033 [5]	5200	4200	3700
ЩМАг – I/2,75 по СТБ 1033 [5]	5600	4500	4000

в асфальтобетоне с применением вяжущего БМА 100/130 возрастает медленнее. Это связано с более быстрой релаксацией напряжений, которую обеспечивает применение модифицированного вяжущего. Исходя из анализа результатов испы-

вид

$$\delta_t = \frac{(\alpha_n - \alpha_0) \cdot (t_1 - t_0) \cdot E \cdot V_{\max}}{(1 - \mu) \cdot V_0} \cdot K_r \quad (4)$$

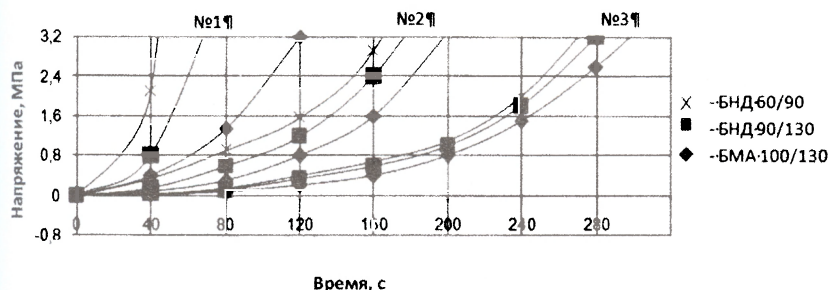


Рисунок 3 - Изменение температурных напряжений во времени при охлаждении асфальтобетона с различными скоростями:
№ 1 - 10 °C/ч; № 2 - 6 °C/ч; № 3 - 3 °C/ч

таний, коэффициент K_r можно принять:
для битума БНД 60/90 – 1,15;
для битума БНД 90/130 – 1,00;
для битума БМА 100/130 – 0,70.

Таким образом, формула (3) по определению температурных напряжений, возникающих в покрытии при охлаждении, с учетом K_r принимает

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ИХ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВЛЯЮЩИХ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Объекты экспериментальных исследований

Экспериментально-лабораторные исследования проводили на плотном асфальтобетоне типа А и щебеночно-мастичном асфальтобетоне типа С с использованием наиболее распространенных в Республике Беларусь исходных материалов. Составы смесей представлены в таблице 2.

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов, представленных в таблице 1, соответствуют требованиям СТБ 1033 [5].

Таблица 2 – Составы асфальтобетонных смесей

Шифр состава	Тип смеси	Вяжущее	Содержание компонентов в асфальтобетонной смеси, %						
			Щебень фракции		Песок	Отсев	МП	Вяжущее	Стаб. добавка
			5-10 мм	10-20 мм					
1-А	А	БНД 90/130	53	0	20	20	7	5,3	0
2-А	А	БНД 60/90	53	0	20	20	7	5,3	0
3-А	А	БМА 100/130	53	0	20	20	7	5,3	0
4-А	А	БНД 90/130	53	0	20	20	7	5,1	0
5-А	А	БНД 90/130	53	0	20	20	7	5,5	0
6-А	А	БНД 90/130	53	0	20	20	7	5,3	0
7-А	А	БНД 90/130	20	33	20	20	7	5,2	0
1-С	С	БНД 90/130	70	0	0	23	7	6,3	0,3
2-С	С	БНД 60/90	70	0	0	23	7	6,3	0,3
3-С	С	БМА 100/130	70	0	0	23	7	6,3	0,3
4-С	С	БНД 90/130	70	0	0	23	7	6,0	0,3
5-С	С	БНД 90/130	70	0	0	23	7	6,6	0,3
6-С	С	БНД 90/130	70	0	0	23	7	6,3	0,3
7-С	С	БНД 90/130	10	60	0	23	7	6,2	0,3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВЯЖУЩЕГО НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Исследование влияния типа вяжущего на низкотемпературные напряжения асфальтобетона

Кроме влияния типа вяжущего, определяли также зависимость устойчивости структуры от модуля битума (толщины битумных пленок) на составах 1-А, 4-А, 5-А, 1-С, 4-С и 5-С (таблица 3).

Результаты исследования влияния различных типов вяжущего и толщины битумных пленок

Таблица 3 – Значения модулей битума асфальтобетонов

Шифр состава (согласно табл. 2)	Тип смеси	Тип 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
1-С	С	БНД 90/130	6,3	2,979
2-С		БНД 60/90	6,3	2,979
3-С		БМА 100/130	6,3	2,979
4-С		БНД 90/130	6,0	2,837
5-С		БНД 90/130	6,6	3,121

проводили на составах 1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 1-С, 2-С, 3-С, 4-С, 5-С (таблица 2). При изготовлении смесей применяли битум БНД 60/90, БНД 90/130, а также модифицированное вяжущее БМА 100/130.

на значения низкотемпературных напряжений и, соответственно, на устойчивость структуры асфальтобетона к температурному трещинообразованию представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения низкотемпературных напряжений для различных составов асфальтобетона

Шифр состава (согласно табл. 2)	Коэффициент линейного расширения ($\alpha_l \cdot 10^{-5}$) в интервале температур, °С			Температурные напряжения δ , МПа, при температуре 0°С
	0 ÷ -10	-10 ÷ -20	-20 ÷ -30	
1-А	2,9	2,5	2,3	1,40
2-А	2,7	2,4	2,4	2,09
3-А	2,9	2,4	2,3	0,87
4-А	2,7	2,1	1,9	1,12
5-А	3,0	2,6	2,5	1,54
1-С	3,0	2,9	2,8	1,44
2-С	2,8	2,6	2,6	2,18
3-С	3,1	3,0	2,9	0,97
4-С	3,0	2,7	2,6	1,18
5-С	3,1	3,0	3,0	1,57

Зависимость коэффициента линейного расширения от температуры и модуля битума показана

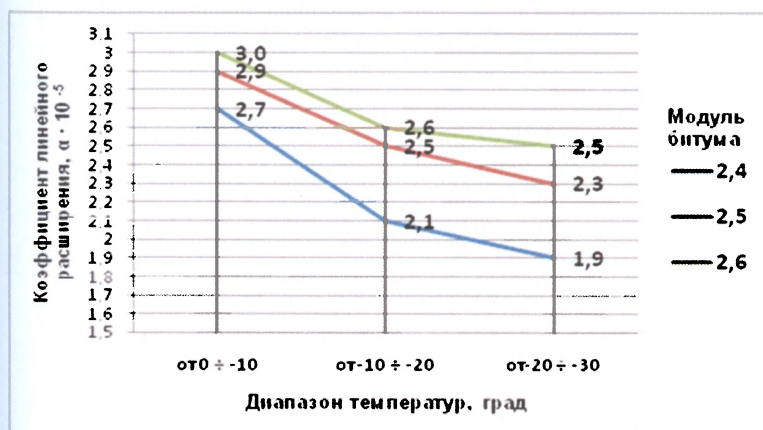


Рисунок 4 - Зависимость коэффициента линейного расширения асфальтобетона типа А от модуля битума и температуры

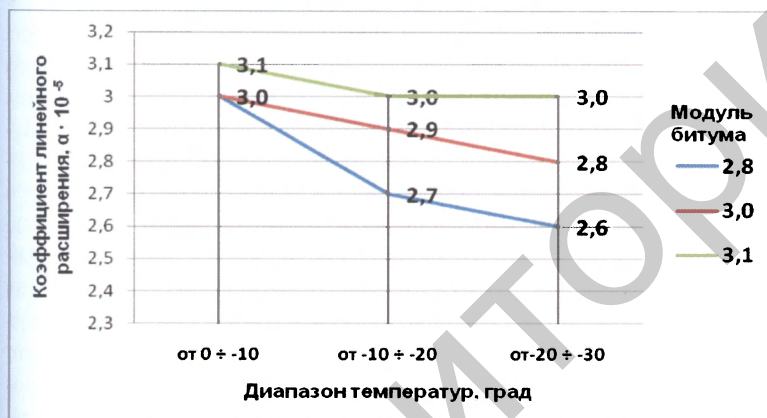


Рисунок 5 - Зависимость коэффициента линейного расширения асфальтобетона типа С от модуля битума и температуры

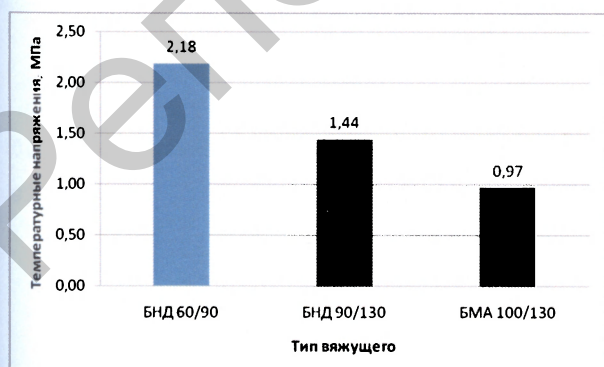


Рисунок 6 - Зависимость низкотемпературного напряжения в асфальтобетоне типа А от типа вяжущего

на рисунках 4 и 5.

Из рисунков видно, что величина коэффициента линейного расширения не является постоянной и зависит от температуры асфальтобетона и содержания вяжущего в смеси. То обстоятельство, что с увеличением содержания битума повышается коэффициент линейного расширения, свидетельствует о значительном влиянии свободного битума на деформативную способность асфальтобетона.

Зависимость низкотемпературных напряжений в различных асфальтобетонах от типа вяжущего показана на рисунках 6 и 7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Исследование влияния минерального заполнителя на низкотемпературные напряжения проводили на составах 6-А, 7-А, 6-С, 7-С (таблица 2). При изготовлении смесей применяли щебень фракции 5-10 мм (составы 6-А и 6-С) и щебень фракций 5-10 мм и 10-20 мм (составы 7-А и 7-С).

Результаты исследования влияния минерального заполнителя на низкотемпературные напряжения представлены в таблице 5.

Зависимость коэффициента линейного расширения асфальтобетона от

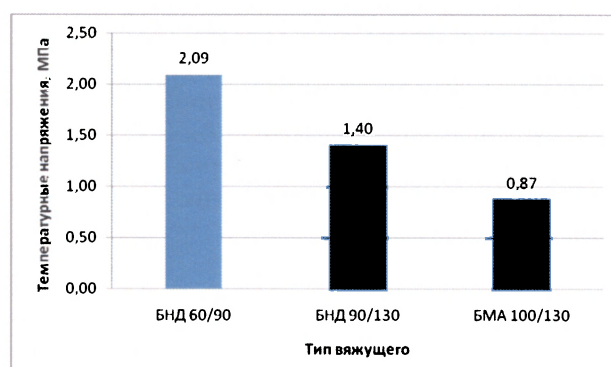


Рисунок 7 - Зависимость низкотемпературного напряжения в асфальтобетоне типа С от типа вяжущего

Таблица 5 – Составы асфальтобетонных смесей

Шифр состава (согласно табл. 2)	Коэффициент линейного расширения ($\alpha, \cdot 10^{-5}$) в интервале температур, °C			Температурные напряжения δ , МПа, при температуре 0°C
	0 ÷ -10	-10 ÷ -20	-20 ÷ -30	
6-A	2,9	2,5	2,4	1,46
7-A	2,7	2,3	2,2	1,18
6-C	3,0	2,8	2,7	1,37
7-C	2,8	2,7	2,6	1,11

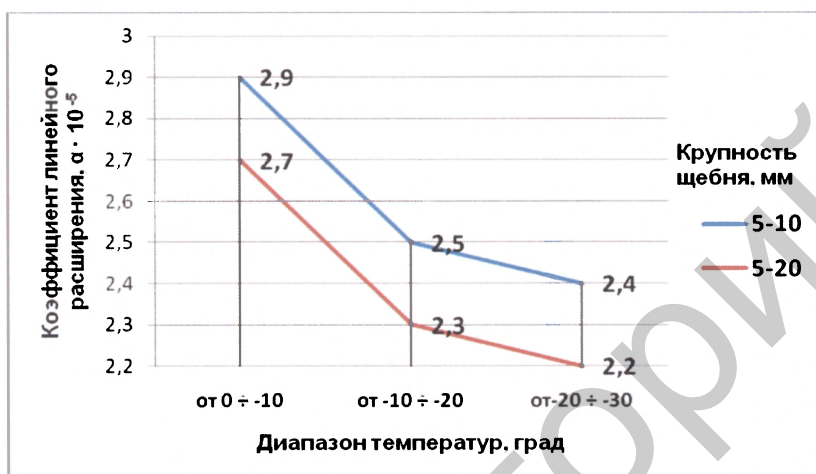


Рисунок 8 - Зависимость коэффициента линейного расширения асфальтобетона типа А от крупности минерального заполнителя

крупности минерального заполнителя показана на рисунках 8 и 9.

Зависимость температурных напряжений от крупности заполнителя представлена на рисунке 10.

Как видно из рисунка 10, при одинаковой толщине пленки битума с увеличением размера зерна температурные напряжения уменьшаются.

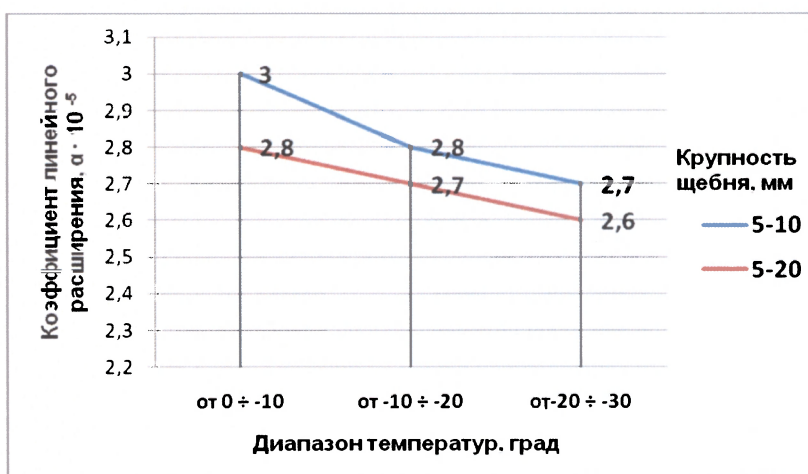


Рисунок 9 - Зависимость коэффициента линейного расширения асфальтобетона типа С от крупности минерального заполнителя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Коэффициент линейного расширения асфальтобетона зависит от температуры асфальтобетонного покрытия, типа и содержания вяжущего в асфальтобетонной смеси. Максимальные значения при отрицательных температурах коэффициент линейного расширения асфальтобетона имеет в интервале температур от 0 °C до минус 10 °C. Повышение коэффициента линейного расширения асфальтобетона с увеличением содержания битума свидетельствует о значительном влиянии, которое оказывает свободный битум на деформативную способность асфальтобетона.

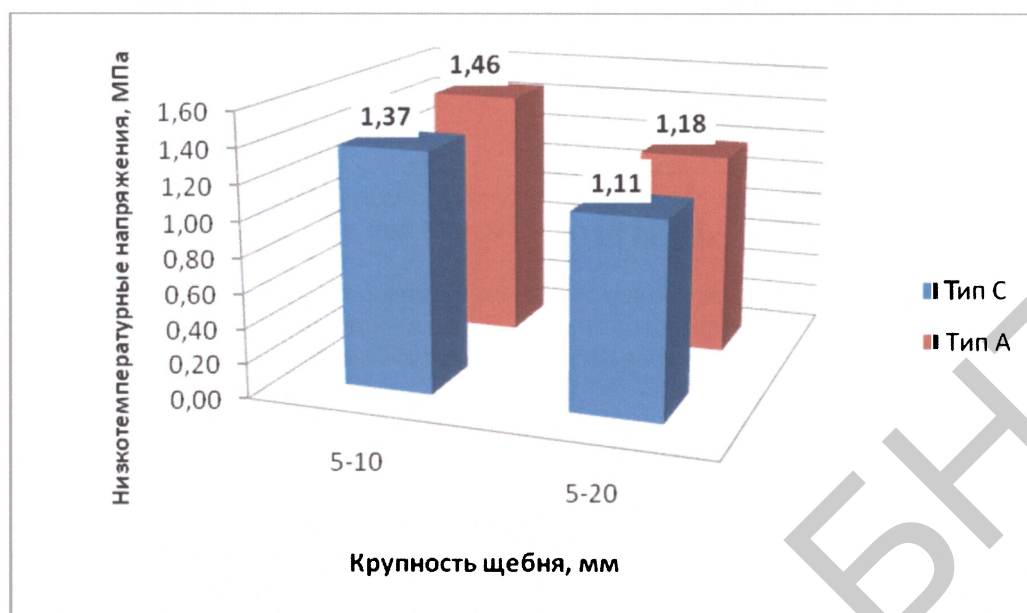


Рисунок 10 - Зависимость температурных напряжений от крупности заполнителя

2. Наименьшие температурные напряжения характерны для асфальтобетонов с большим размером зерен минеральной части при одинаковой толщине пленки битума, в состав которых входит битум БМА 100/130, способствующий более интенсивной релаксации низкотемпературных напряжений.

Литература

1. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112-2008 – Введ. 2008-11-19. – Минск: Минстройархитектуры, 2009.

2. Никольский, Ю.Е. Исследование трещиностойкости асфальтобетона при низких температурах. Определение напряжений в покрытии как вязкоупругом слое при колебаниях температуры // Труды СоюздорНИИ. - Вып. 29(1). - М., 1969.

3. Богуславский, А.М. О деформативной способности асфальтобетона при охлаждении // Труды ХАДИ. – Харьков, 1961.

4. Богуславский, А.М., Ефремов, Л.Г. Асфальтобетонные покрытия. – М., 1981.

5. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033-2004. – Введ. 2005-01-01. – Минск: Минстройархитектуры, 2004.

6. Распопов, Н.М. Исследование морозоустойчивости асфальтового бетона. – М., 1949.