

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ (СТРУКТУРНОЙ) УСТОЙЧИВОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА

## THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF DEFORMATIONAL (STRUCTURAL) STABILITY OF ASPHALT CONCRETE

**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 рассмотрены вопросы теоретической и экспериментальной оценки деформационной (структурной) устойчивости асфальтобетона.*

*Приведены методики расчета асфальтобетона на сдвигоустойчивость и расчета конструкций дорожных одежд на температурную трещиностойкость с помощью разработанных специальных компьютерных программ.*

*Приведены результаты испытаний асфальтобетона по методикам, максимально моделирующим реальные условия нагружения и деформирования дорожных покрытий под действием транспортной нагрузки и температурных колебаний.*

*The article deals with the matters of theoretical and experimental assessment of deformational (structural) stability of asphalt concrete.*

*Procedures are given for asphalt concrete design in terms of shearing resistance and design of structures for road dressing with specially designed software used for this purpose.*

*Results are given for asphalt concrete tests carried out in accordance with procedures simulating, as far as possible, real conditions of road pavement loading and deformation resulting from transport loads and temperature fluctuations.*

### ВВЕДЕНИЕ

В транспортной сети Беларуси, имеющей тесные связи с соседними государствами, важная роль отводится автомобильным дорогам. Через территорию нашей страны проходят два трансъевропейских коридора, определенных по международной классификации под номером II (Восток – Запад) и под номером IX (Север – Юг) с ответвлением IXB. Их участками являются автомобильные дороги М-1/Е30 и М-8/Е95. М-1/Е30 связывает Российскую Федерацию с Западной Европой, а М-8/Е95 соединяет Финляндию, Литву, Россию, Украину, Молдову, Румынию, Болгарию и Грецию.

От эксплуатационного состояния дорог непосредственно зависят валовой национальный продукт страны, уровень цен, доходы государственного бюджета, степень занятости населения, приток инвестиций и другие экономические показатели.

Рост автомобильных перевозок в значительной степени определяется активным развитием автотранспортного комплекса Республики Беларусь, а также соответствующим состоянием дорожной сети, ее надежностью, экономичностью.

Асфальтобетон является одним из наиболее распространенных дорожно-строительных материалов, используемых для устройства дорожных покрытий. Однако по мере роста нагрузок на ось автомобиля и интенсивности движения все более ошутимо проявляются недостатки применяемых асфальтобетонных, и в первую очередь к ним следует отнести недостаточную трещиностойкость и сдвигоустойчивость, что является одной из основных причин снижения срока службы асфальтобетонных покрытий, и как следствие, увеличения затрат на их ремонт и содержание. Этой проблеме были посвящены исследования [1–9], и установлен целый ряд факторов, влияющих на деформационную устойчивость асфальтобетона.

Опыт эксплуатации покрытий показывает, что существующий ряд нормативных требований к составляющим асфальтобетонной смеси и к самой смеси не гарантирует расчетного срока службы покрытий. Одной из основных причин следует считать отсутствие функциональности методов их определения, то есть невозможность точного воспроизведения при лабораторных исследованиях условий работы материала конструкции в существующих эксплуатационно-климатических и других условиях.

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

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

При воздействии колесных нагрузок на покрытие первичными напряжениями, которые передаются на асфальтобетон, будут вертикальные сжимающие и сдвиговые деформации, развивающиеся по всему слою асфальтобетона, а также горизонтальные растягивающие напряжения в нижней части слоя. Асфальтобетон должен быть внутренне прочным и устойчивым на сжатие и сдвиг, чтобы предотвратить постоянные деформации. Также асфальтобетон должен иметь достаточную прочность при растяжении в нижней части слоя, чтобы предотвратить трещинообразование, в частности образование усталостных трещин, возникающих в результате многократных нагрузок. Асфальтобетон

также должен быть устойчивым к воздействию напряжений, развивающихся в результате ускоренного понижения температуры и под воздействием очень низких температур.

### Теоретические основы обеспечения сдвигоустойчивости асфальтобетона

Проблему повышения сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий с учетом условий их эксплуатации необходимо решать на стадии проектирования и разработки состава асфальтобетонной смеси, основываясь на физико-механических показателях асфальтобетонной смеси. Все лабораторные испытания должны быть максимально приближены к реальным условиям эксплуатации.

Перспективным методом, применяемым для оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона, является определение напряженно-деформированного состояния асфальтобетона и его расчетных характеристик по моделям структуры, построенным с использованием специальных компьютерных программ. Это позволит эффективно управлять структурой, составом асфальтобетона на стадии его подбора и, как следствие, подбирать составы с достаточной сдвигоустойчивостью.

К критериям, определяющим структурную устойчивость асфальтобетона в покрытии, следует отнести и угол (коэффициент) внутреннего трения, по которому можно судить о направлении и характере образования площадок разрушения.

Следует различать и механизмы сдвигоустойчивости несвязных и связных материалов. Сдвигоустойчивость несвязных (сыпучих) строительных материалов изучается в условиях напряженно-деформированного состояния, соответствующего незатухающим скольжениям (сдвигам) одной части по другой. Сопротивление сдвигу этих материалов обеспечивается только за счет внутреннего трения их частиц между собой. В связанных же материалах, к которым и относится асфальтобетон, сопротивление всестороннему растяжению, сжатию, сдвигу осуществляется за счет сил трения и сцепления частиц, только при преодолении которых и может возникнуть скольжение (сдвиг) одной части по другой.

Учитывая это, можно утверждать, что наиболее достоверно оценить структурную устойчивость асфальтобетона можно с помощью параметров уравнения Кулона

$$\tau_j = C + \sigma_j \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $\tau_j$  – предельное напряжение сдвига, МПа;

$C$  – внутреннее сцепление асфальтобетона, МПа;

$\sigma_j$  – нормальное напряжение на площадке сдвига, МПа;

$\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент внутреннего трения асфальтобетона.

Применительно к асфальтобетону угол (коэффициент) внутреннего трения  $\text{tg}\varphi$  характеризует статический предел текучести, который отождествляется с упругой составляющей сопротивления сдвигу. Внутреннее или когезионное сцепление  $C$  является реологической составляющей.

Таким образом, по значениям величин расчетных характеристик ( $\text{tg}\varphi$  и  $C$ ) можно судить о сдвигоустойчивости асфальтобетона и, соответственно, о его структурной устойчивости.

Для моделирования структуры асфальтобетона была разработана программа StoneBox. Одной из наиболее важных функций данной программы является возможность построения линии сдвига (рис. 1), по которой предположительно произойдет первоначальная сдвиговая деформация в асфальтобетоне. Линия сдвига строилась по известным координатам точки действия максимальных касательных напряжений и углу наклона площадки сдвига.



Рисунок 1 – Модель структуры асфальтобетона с построенной линией сдвига

Угол наклона площадки сдвига вычисляли по следующей зависимости

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\sigma_{\alpha}}{\tau_{\max}}\right), \quad (2)$$

где  $\sigma_{\alpha}$  – нормальные напряжения в точке действия максимальных касательных напряжений;

$\tau_{\max}$  – максимальные касательные напряжения.

Кроме этого, программа позволяет определять главные напряжения ( $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ ) в месте действия максимальных напряжений и сдвига.

Анализ результатов исследований [10] показал возможность установления корреляционных зависимостей между углом внутреннего трения  $\varphi$  и углом наклона площадки сдвига  $\alpha$  асфальтобетона.

Внутреннее сцепление  $C$  определяли по зависимости Мора путем построения огибающих кривых предельных напряжений при сдвиге (рис. 2).

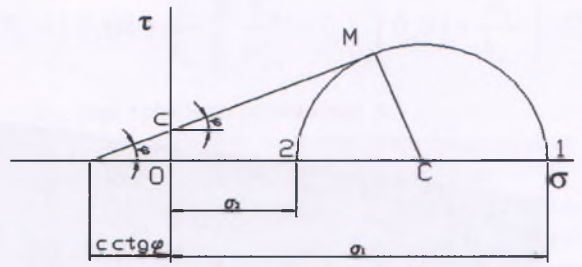


Рисунок 2 – Огибающая кривая предельных напряжений при сдвиге

### Теоретические основы обеспечения трещиностойкости асфальтобетона

Анализ существующего эксплуатационного состояния дорожных конструкций показывает, что трещины, образующиеся в течение срока службы под воздействием транспортных нагрузок и погодноклиматических факторов, составляют более 50 % от общего числа разрушений дорожных покрытий.

В проблеме трещинообразования следует выделить два основных направления: собственное трещинообразование и отраженное трещинообразование. При реконструкции и капитальном ремонте наиболее актуальна проблема отраженного трещинообразования, проявляющегося при использовании существующих цементобетонных и асфальтобетонных покрытий в качестве конструктивных слоев дорожных одежд при указанных видах дорожных работ.

Проблеме борьбы с отраженными трещинами уделяют большое внимание в разных странах мира, в том числе и в Республике Беларусь. Среди белорусских ученых наиболее глубоко этой проблемой занимались В. Н. Яромко, В. А. Веренько, В. П. Корюков. По результатам их исследований в качестве основных параметров, влияющих на трещиностойкость дорожных одежд, можно определить следующие: толщины слоев; величины градиента температур конструктивных слоев; модули упругости; коэффициенты температурного расширения материалов конструктивных слоев.

В результате выполненных исследований была разработана компьютерная программа, с помощью которой можно определить деформирование дорожной одежды под воздействием транспортной нагрузки и температуры, и выражение для расчета температурных напряжений в покрытии. Задача решалась в объемной постановке. Моделирование конструкции дорожной одежды производилось в программе MSC.Patran, а расчет методом конечных элементов – в программе MSC.Marc. На рисунке 3 приведен общий вид деформированной дорожной одежды под воздействием внешних факторов (транспортной нагрузки и температуры) и распределение в ней напряжений вдоль оси X (перпенди-

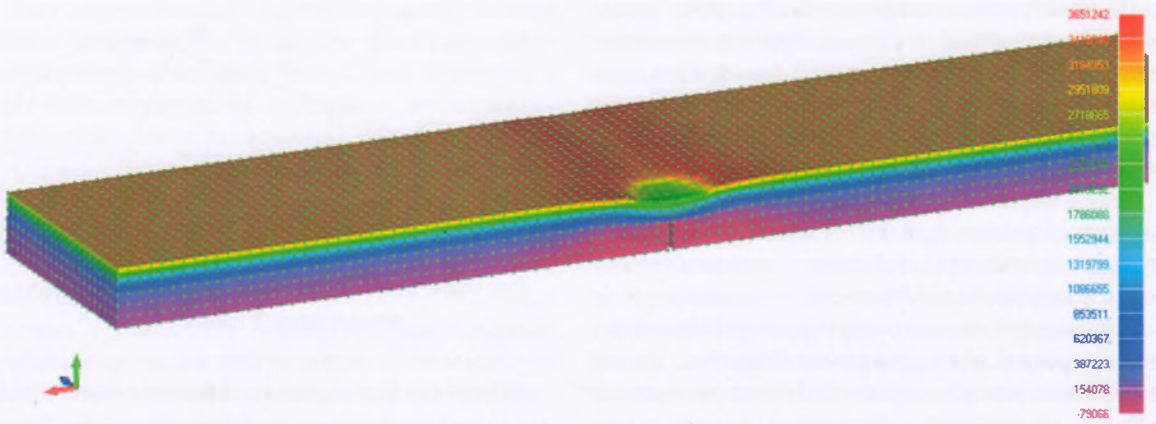


Рисунок 3 – Распределение напряжений и деформация модели

### Линия наибольших растягивающих напряжений

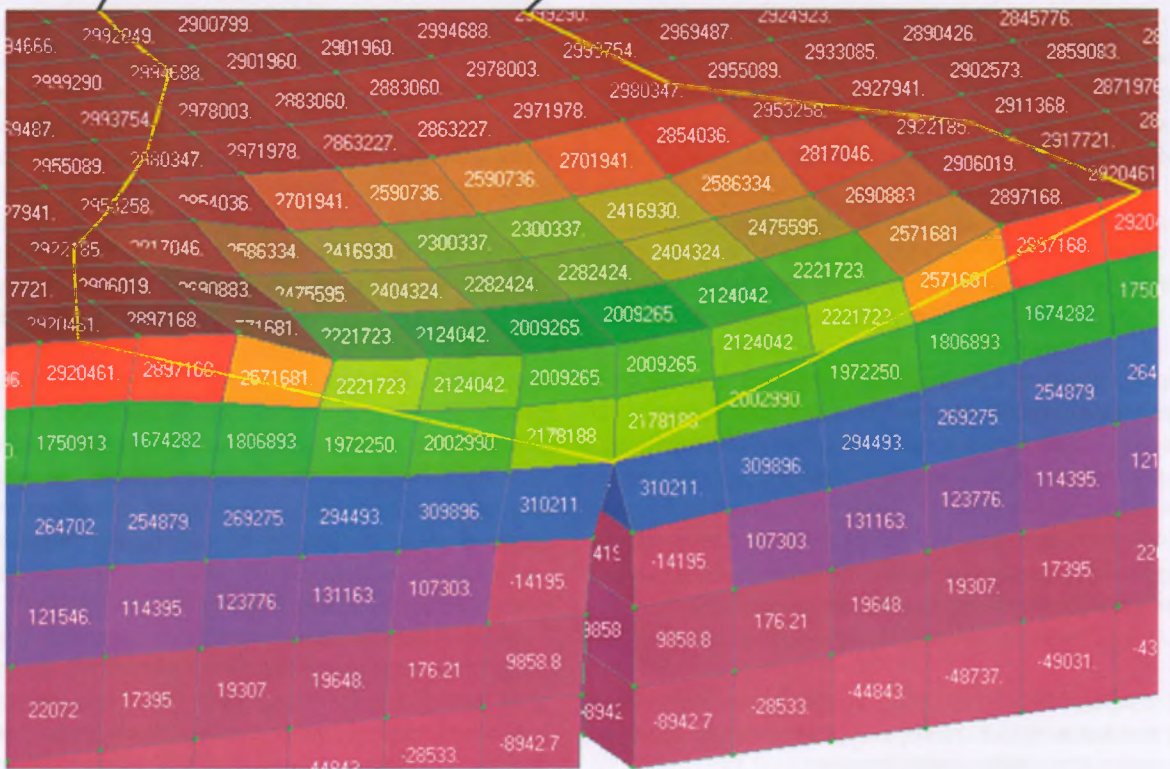


Рисунок 4 – Распространение растягивающих напряжений в покрытии дорожной одежды в случае совместного действия температуры и транспортной нагрузки

кулярно плоскости трещины). На рисунке 4 более подробно показан фрагмент модели в месте приложения транспортной нагрузки над трещиной.

Статистическая обработка данных исследований напряженно-деформированного состояния позволила разработать зависимость максимальных растягивающих напряжений, возникающих в покрытии, от параметров конструкции дорожной одежды

$$\sigma_i = \bar{\sigma}_i (k_1 + k_2 + k_p), \quad (3)$$

где  $\sigma_i$  – среднее значение растягивающих напряжений для всех рассчитанных моделей, МПа:

$$\bar{\sigma}_i = \Delta T \alpha_1 \bar{E}, \quad (4)$$

$\Delta T$  – максимальное значение изменения температуры покрытия;

$\alpha_1$  – коэффициент линейного температурного расширения материала покрытия;

$\bar{E}$  – среднее значение расчетного модуля упругости материала покрытия всех исследованных моделей;

$k_1$  – коэффициент влияния параметров покрытия на значение напряжений

$$k_1 = \frac{0,25 + \frac{E_1}{E_{1m}} + \frac{E_1^2}{E_{1m}^2}}{0,06 + \frac{h_1}{h_{1m}}}, \quad (5)$$

$E_1$  – модуль упругости материала покрытия, МПа. Если новое покрытие состоит из нескольких слоев, то следует принимать средневзвешенное значение модуля упругости;

$E_{1m}$  – максимальное значение модуля упругости материала покрытия, заложенное в расчет конструкций;

$h_1$  – толщина нового покрытия, см;

$h_{1m}$  – максимальное значение толщины нового покрытия, заложенное в расчет конструкций, равное 15 см;

$k_2$  – коэффициент влияния параметров основания с трещинами на значение напряжений

$$k_2 = \left( 0,04 + \frac{L}{L_m} \right) \left( \frac{E_2}{E_{2m}} - 0,1 \right) \left( 0,01 + \frac{h_2}{h_{2m}} \right), \quad (6)$$

$L$  – шаг трещин в основании, м;

$L_m$  – максимальное значение шага трещин, заложенное в расчет конструкций, равное 30 м;

$E_2$  – модуль упругости материала старого основания с трещинами, МПа. Если оно состоит из нескольких слоев, то следует принимать средневзвешенное значение модуля упругости;

$E_{2m}$  – максимальное значение модуля упругости материала основания, заложенное в расчет конструкций, МПа;

$h_2$  – толщина основания с трещинами, см;

$h_{2m}$  – максимальное значение толщины основания, заложенное в расчет конструкций, равное 30 см;

$k_p$  – коэффициент влияния параметров трещинопрерывающей прослойки на значение напряжений

$$k_p = -0,06 \frac{E_{1m} - E_p}{E_1 - E_{pm}}, \quad (7)$$

$E_p$  – модуль упругости материала трещинопрерывающей прослойки, МПа;

$E_{pm}$  – значение модуля упругости материала трещинопрерывающей прослойки, заложенное в расчет конструкций, МПа.

Формула (1) имеет универсальный характер и может быть использована для определения температурных напряжений в покрытии во всех случаях расчетов дорожных одежд: при капитальном ремонте с устройством трещинопрерывающей прослойки мембранного типа (учитываются все коэффициенты влияния), при ремонте без устройства трещинопрерывающих мембран (коэффициент  $k_p$  принимается равным 0), при новом строительстве (коэффициенты  $k_2$  и  $k_p$  принимаются равными 0). В случае армирования нового покрытия геосетками модуль упругости геосетки учитывается при расчете средневзвешенного значения модуля упругости покрытия.

В общем случае, подставляя формулы (4)–(7) в (3) получим выражение для расчета температурных напряжений в покрытии

$$\sigma_i = \Delta T \alpha_1 \bar{E} \left[ \frac{0,25 + \frac{E_1}{E_{1m}} + \frac{E_1^2}{E_{1m}^2}}{0,06 + \frac{h_1}{h_{1m}}} + \left( 0,04 + \frac{L}{L_m} \right) \left( \frac{E_2}{E_{2m}} - 0,1 \right) \left( 0,01 + \frac{h_2}{h_{2m}} \right) - 0,06 \frac{E_{1m} - E_p}{E_1 - E_{pm}} \right]. \quad (8)$$

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментально-лабораторные исследования проводились по разработанным ранее методикам [11–13], максимально моделирующим условия нагружения и деформирования дорожных покрытий под действием транс-

портной нагрузки и температурных колебаний.

Приготавливались и испытывались образцы из асфальтобетонных смесей различного состава (таблица 1). Все образцы по зерновому составу и показателям физико-механических свойств соответствовали требованиям СТБ 1033 [13].

Таблица 1 – Составы асфальтобетонных смесей

Шифр состава	Тип смеси	Марка вяжущего	Содержание в щебне зерен пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы, %	Содержание компонентов в асфальтобетонной смеси						
				Массовая доля минеральной части, %					Вяжущее, % от массы минеральной части	Стабилизирующая добавка, % от массы вяжущего
				Щебень фракции, мм		Песок природный	Отсев дробления	Минеральный порошок		
				5–10	10–20					
С-0	С	БНД 90/130	0	70	0	0	23	7	6,3	0,3
С-25	С	БНД 90/130	25	70	0	0	23	7	6,3	0,3
С-25м	С	БМА 100/130	25	70	0	0	23	7	6,3	0,3
А-0	А	БНД 90/130	0	20	33	10	30	7	5,3	0
А-25	А	БНД 90/130	25	20	33	10	30	7	5,3	0
В-25	В	БНД 90/130	25	19	8	17	49	7	6,0	0
Г	Г	БНД 90/130	-	-	-	20	80	0	8	0

Результаты исследований представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2 – Результаты определения расчетных характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетона: угла внутреннего трения и внутреннего сцепления

Шифр состава	По расчету				Лабораторные испытания по СТБ 1115 [14]
	Главные напряжения		Максимальные касательные напряжения $\tau_{\max}$ , МПа	Угол наклона площадки сдвига $\alpha$	Коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg}\varphi$
	$\sigma_1$ , МПа	$\sigma_2$ , МПа			
С-0	-0,23	-1,53	-0,7	0,93	0,92
С-25	-0,25	-1,92	-0,8	0,91	0,91
С-25м	-0,27	-2,17	-1,0	0,94	0,95
А-0	-0,41	-3,53	-1,6	0,90	0,89
А-25	-0,27	-3,95	-1,8	0,85	0,83
В-25	-0,21	-5,74	-2,8	0,82	0,77
Г	-0,17	-7,70	-3,8	0,81	0,61

Как видно из таблицы 2, величина основной характеристики сдвигоустойчивости – коэффициента внутреннего трения  $\text{tg}\phi$ , полученного лабораторным методом, и величина угла наклона площадки сдвига  $\alpha$ , полученная расчетным методом с помо-

щью программы, имеют высокую достоверность (более 95 %) при расчете многослойных асфальтобетонов контактной структуры, применяемых для устройства покрытий дорог с высокой интенсивностью и грузонапряженностью.

Таблица 3 – Результаты испытаний асфальтобетона на устойчивость его структуры к колееобразованию

Шифр состава	Деформация после числа проходов, мм					Угол сдвига $\alpha$ , град	Глубина колеи К, % от высоты образца
	2000	4000	6000	8000	10 000 (общая)		
С-0	0,82	0,96	1,01	1,05	1,10	1,3	2,20
С-25	0,82	1,02	1,07	1,10	1,14	1,0	2,28
С-25м	0,76	0,93	1,03	1,06	1,09	0,9	2,18
А-0	0,85	1,17	1,33	1,48	1,60	3,9	3,20
А-25	0,91	1,29	1,55	1,68	1,79	3,4	3,58
В-25	1,15	1,61	1,98	2,35	2,80	11,7	5,60
Г	2,51	4,93	7,10	Разрушение образца		65,7	14,2*

\* После 6000 проходов.

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

Шифр состава	Коэффициент линейного расширения $\alpha$ , $10^{-5}$ в интервале температур от 0 °С до минус 10 °С	Температурные напряжения $\sigma$ , МПа, при температуре 0 °С
С-0	2,9	2,40
С-25	2,8	2,40
С-25м	3,0	2,10
А-0	2,6	3,60
А-25	2,5	3,50
В-25	2,3	3,95
Г	2,7	4,03

Для наглядности на рисунках 5–6 показана устойчивость структуры асфальтобетонов составов С-25, С-25м, А-25 и В-25 к колееобразованию и трещинообразованию.

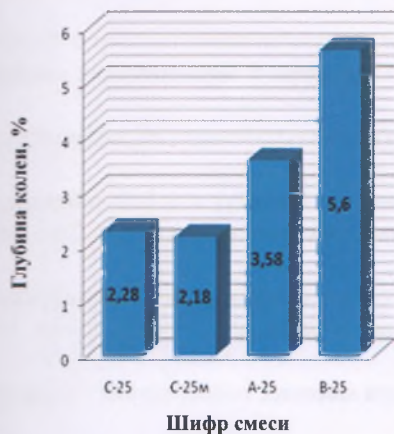


Рисунок 5 – Зависимость глубины колеи от типа асфальтобетонной смеси

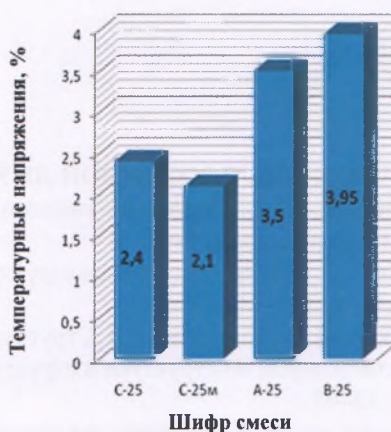


Рисунок 6 – Зависимость температурных напряжений от типа асфальтобетонной смеси

Результаты испытания показали лучшую сдвигоустойчивость и трещиностойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона. Наиболее эффек-

тивным, с точки зрения обеспечения структурной устойчивости, является применение модифицированного вяжущего БМА 100/130.

Как видно из таблиц 2–3, высокое содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы приводит к снижению сдвигоустойчивости асфальтобетона. Это объясняется тем, что указанные зерна обладают низкой механической прочностью и в процессе уплотнения асфальтобетонных смесей и воздействия высоких транспортных нагрузок на покрытие разрушаются. Кроме этого, наличие лещадных зерен отрицательно влияет на плотность асфальтобетона. В результате при увеличении содержания лещадных зерен до 25 % показатели коэффициента внутреннего трения  $tg\phi$  и глубины колеи  $K$ , характеризующие сдвигоустойчивость минерального остова асфальтобетона, снижаются на 10 %–15 %.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных направлений теоретической оценки структурной устойчивости асфальтобетона является моделирование напряженно-деформированного состояния асфальтобетона в реальных условиях работы дорожного покрытия с использованием специальных компьютерных программ, позволяющих прогнозировать направление и характер образования площадок сдвига в асфальтобетоне и определять его расчетные характеристики.

По результатам лабораторных исследований разработаны методики оценки устойчивости структуры асфальтобетона к колееобразованию и температурному трещинообразованию, позволяющие оптимизировать состав асфальтобетонной смеси исходя из критерия обеспечения структурной устойчивости асфальтобетона.

Анализ характера распределения температурных напряжений в деформированных моделях показывает, что температурные напряжения в покрытии возрастают при увеличении амплитуды колебания температуры, воздействующей на покрытие, коэффициента линейного расширения материала покрытия, модулей упругости материалов всех конструктивных слоев дорожной одежды, толщины основания с трещинами и шага трещин в основании и уменьшаются при увеличении толщины покрытия (слоя усиления).

На основании результатов расчета можно сделать вывод, что максимальные напряжения от температуры возникают в верхней части покрытия в непосредственной близости от трещины. В случае приложения транспортной нагрузки максимальные растягивающие напряжения возникают не непосредственно над трещиной, а распространяются от трещины на поверхность под некоторым углом, что объясняется видом деформирования покрытия под воздействием транспортной нагрузки.

Величина основной характеристики сдвигоустойчивости – коэффициента внутреннего трения  $tg\phi$ , полученного лабораторным методом, и величина угла наклона площадки сдвига  $\alpha$ , полученная расчетным методом, имеют высокую достоверность (более 95 %) при расчете многощелебнистых асфальтобетонов контактной структуры, применяемых для устройства покрытий дорог с высокой интенсивностью и грузонапряженностью.

На основании проведенных исследований были разработаны составы асфальтобетонных смесей, обеспечивающие структурную устойчивость асфальтобетона в условиях воздействия современных транспортных нагрузок.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веренько, В. А. Дорожные композиционные материалы. Структура и механические свойства. – Минск : Наука и техника, 1993.
2. Рыбьев, И. А. Опыт построения структурной теории прочности асфальтобетона : сб. научных трудов / МАДИ. – Вып. 23. – М., 1958.
3. Волков, М. И., Королев, И. В. Структурообразование и взаимосвязь структур в асфальтобетоне // Материалы симпозиума по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне. – Балашиха : Союздорнии, 1968. – С. 38–47.
4. Горельшев, Н. В. Оптимальная структура минерального остова асфальтобетона // Материалы симпозиума по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне. – Балашиха : Союздорнии, 1968. – С. 61–75.
5. Иванов, Н. Н. Устойчивость асфальтобетонных покрытий при высоких температурах // Повышение качества асфальтобетона. – М., 1975. – С. 21–25.



6. Горелышев, Н. В., Пантелеев, Ф. Н. О пластичности дорожного асфальтобетона // Труды МАДИ. – М. : Дориздат, 1953. – Вып. 15.
7. Рыбьев, И. А. Опыт построения структурной теории прочности и деформационной устойчивости асфальтобетона : сборник научных трудов / МАДИ. – М., 1958. – Вып. 23.
8. Богуславский, А. М., Ефремов, Л. Г. Асфальтобетонные покрытия. – М., 1981.
9. Распопов, Н. М. Исследование морозоустойчивости асфальтового бетона. – М., 1949.
10. 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.
11. 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.
12. Исследование и разработка рекомендаций по обеспечению структурной устойчивости асфальтобетона с учетом его напряженно-деформированного состояния в условиях современных транспортных нагрузок : отчет о НИР (заключ.) по теме 06.393.2.2007. – Арх. № 1105.
13. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : СТБ 1033-2016.
14. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2013.

*Статья поступила в редакцию 20.11.2017.*