

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

ON THE PROBLEM OF ASSESSMENT OF STRESS-STRAIN BEHAVIOR OF ASPHALT CONCRETE

В статье представлена методика оценки напряженно-деформированного состояния асфальтобетона. Проведены исследования сдвигоустойчивости асфальтобетонов различных типов, получены их расчетные характеристики.

The article describes the procedure for assessment of stress-strain behavior of asphalt concrete. The investigations covering shear resistance of various types of asphalt concrete are described, and the calculated characteristics of these types of asphalt concrete are listed.



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

Введение

Работоспособность покрытий автомобильных дорог и срок их службы зависят прежде всего от того, насколько прочность дорожной конструкции в целом отвечает требованиям сопротивления воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов.

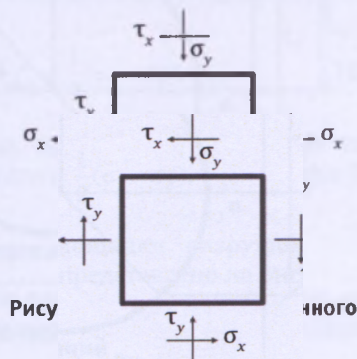
Правильная оценка свойств асфальтобетона является не только материаловедческой, но и экономической задачей. Заниженные требования к материалам являются главной причиной преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий, что приводит к росту затрат на содержание и ремонт дорог. В то же время необоснованно завышенные требования к материалам приводят, как правило, к перерасходу средств и снижению эффективности капитальных вложений в дорожное строительство.

Важнейшими показателями, характеризующими напряженно-деформированное состояние асфальтобетона, являются главные нормальные и максимальные касательные напряжения. Разработанная методика оценки этих показателей позволит проектировать наиболее оптимальные составы асфальтобетонных смесей.

Методика оценки напряженно-деформированного состояния асфальтобетона

Напряженно-деформированное состояние асфальтобетона характеризуется тензором напряжений и соответствующим тензором деформаций, которые применимы как к расчету дорожных слоев на сопротивление сдвигу, так и к испытаниям образцов в лаборатории при любых схемах их деформирования. Напряженное состояние в любой точке тела характеризуется нормальными и касательными напряжениями, действующими на взаимно перпендикулярные грани элементарного объема (куба), выделенного из сплошной среды (рис. 1).

Нормальные напряжения, действующие на взаимно перпендикулярных (главных) плоскостях, на которых отсутствуют касательные напряжения, являются главными. Зная напряжения σ_x , σ_y , τ_{xy} в любой точ-



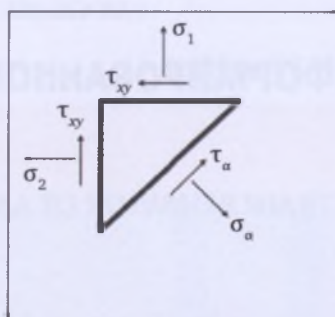


Рисунок 2 – Схема определения напряжений

ке асфальтобетонного образца, можно найти из уравнений равновесия сил напряжения на любой наклонной по отношению к осям x и y плоскости (площадке) по следующим формулам:

$$\sigma_\alpha = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha, \quad (1)$$

$$\tau_\alpha = \frac{1}{2}(\sigma_y - \sigma_x) \sin 2\alpha. \quad (2)$$

Изменение напряжений σ_α и τ_α , в которых роль переменного параметра принадлежит углу наклона α , можно представить графически в виде диаграммы в координатах σ и τ (рис. 2).

По III теории прочности пластические деформации в материале образуются тогда, когда максимальные касательные напряжения достигают предельного значения. Максимальные касательные напряжения действуют по площадке, которая имеет одинаковый наклон к площадкам наибольших и наименьших главных напряжений, и определяются как половина разности главных напряжений или равны радиусу окружности (рис. 3).

Используя диаграмму (рис. 3), можно также определить главные напряжения σ_1 , σ_2 и τ_{\max} , если известны σ_x , σ_y , τ_{xy} для любых двух взаимно перпендикулярных площадок:

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2}, \quad (3)$$

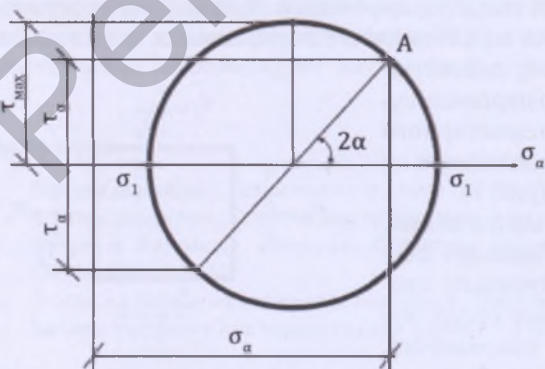


Рисунок 3 – Круг Мора

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2}, \quad (4)$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2}. \quad (5)$$

Таким образом, можно получить все необходимые характеристики напряженно-деформированного состояния асфальтобетона в любой точке, если известны σ_x , σ_y и τ_{\max} .

Для определения величин нормальных и касательных напряжений применялся комплекс по оценке напряженно-деформированного состояния асфальтобетона (рис. 4), включающий в себя:

- мобильный цифровой измерительный усилитель SPIDER-8;
- испытательный пресс ИП-5051;
- ноутбук.

Испытания проводились на образцах асфальтобетона кубической формы размером $70 \times 70 \times 70$ мм.

Общая схема размещения тензометрических датчиков на образце асфальтобетона при проведении исследований представлена на схеме (рис. 5).

Тензометрический датчик В прикреплялся под углом $\alpha = 15^\circ$ к направлению напряжения σ_2 , а тензометрический датчик А – перпендикулярно к тензомеру В.

После приложения нагрузки $20\,000$ Н с помощью испытательного пресса ИП-5051 измерительным усилителем SPIDER-8 фиксировались приращения показаний тензометров Δn_A и Δn_B .

Относительные деформации в направлении тензометров А и В вычисляли по формулам:

$$\varepsilon_x = \Delta n_A / (k \cdot s), \quad (6)$$

$$\gamma_{xy} = \Delta n_B / (k \cdot s), \quad (7)$$

где $s = 20$ – база тензомера, мм;

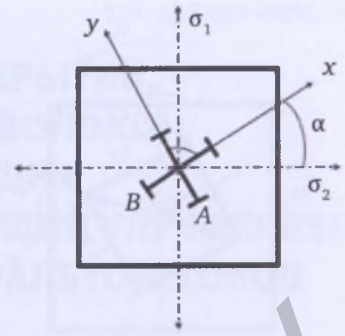
k – коэффициент увеличения, равный 1000.



Рисунок 4



Рисунок 5 – Размещение тензометрических датчиков



Величины напряжений σ_x и τ_{xy} рассчитывали по формулам:

$$\sigma_x = E\varepsilon_x, \quad (8)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy}, \quad (9)$$

где E – модуль упругости асфальтобетона, определяемый по методике [1], МПа;

ε_x – относительная линейная деформация в образце асфальтобетона в направлении оси x ;

G – модуль сдвига, МПа,

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad (10)$$

где $\nu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$ – коэффициент Пуассона;

ε' – деформация в поперечном направлении;

ε'' – продольная деформация;

γ_{xy} – относительная деформация сдвига в образце асфальтобетона.

Главные напряжения, МПа, определяли по формулам:

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2}, \quad (11)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2}. \quad (12)$$

Так как вдоль оси y нормальные напряжения не действуют, то $\sigma_2 = \sigma_y = 0$. Тогда получаем:

$$\sigma_1 = \sigma_{\max} = \frac{1}{2}\sigma_x + \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{2} + \tau_{xy}^2}, \quad (13)$$

$$\sigma_3 = \sigma_{\min} = \frac{1}{2}\sigma_x - \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{2} + \tau_{xy}^2}. \quad (14)$$

Расположение главных площадок определяли по формуле

$$\operatorname{tg}2\alpha_0 = -\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}. \quad (15)$$

На рисунке 6 показан пример расположения главных напряжений и главных площадок в элементарном объеме (кубе). Углы α'_0 и α''_0 от-

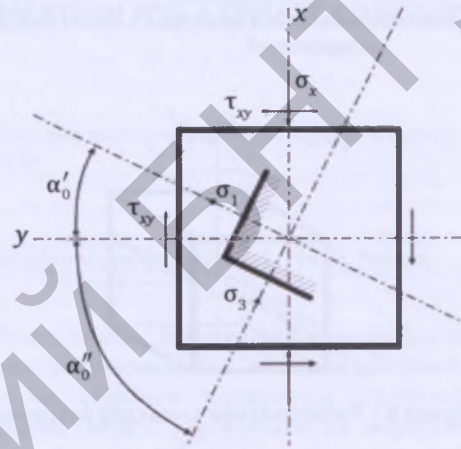


Рисунок 6 – Расположение главных напряжений и главных площадок

считываются от наибольшего нормального напряжения. Угол α'_0 указывает на наибольшее главное напряжение σ_1 и откладывается по часовой стрелке (так как $\alpha'_0 < 0$), угол α''_0 указывает на главное напряжение на смежной площадке σ_3 и откладывается против часовой стрелки (так как $\alpha''_0 > 0$).

Согласно III теории прочности – теории наибольших касательных напряжений, текучесть материала наступает тогда, когда наибольшие касательные напряжения превышают допустимые.

Максимальные касательные напряжения действуют по площадкам, наклоненным под углом 45° к главным площадкам (рис. 7), и по величине равны

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3). \quad (16)$$

Расположение площадки разрушения по III теории прочности представлено на рисунке 8.

Результаты исследований

Исследования проводили на образцах асфальтобетонов, составы которых приведены

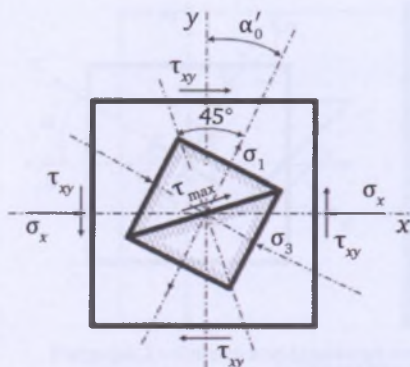


Рисунок 7 – Расположение максимальных касательных напряжений

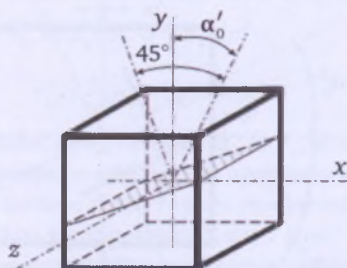


Рисунок 8 – Расположение площадки разрушения

в таблице 1. Наряду с образцами из традиционных асфальтобетонов типов А, В и щебеночно-мастичного типа С, исследования проводились на образцах из асфальто-цементного композиционного материала (АЦМ). Особенностью АЦМ является то, что поры асфальтобетона заполняются специальным цементным раствором.

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов типов А, В и С, представленные в таблице, соответствуют требованиям СТБ 1033 [2], а асфальто-цементного материала – требованиям ДМД 02191.2.050 [3].

Результаты испытаний асфальтобетона представлены в таблице 2.

Анализ результатов испытаний, приведенных в таблице 2, позволяет судить о характере

Таблица 1 – Составы асфальтобетонных смесей

Тип смеси	Вязущее	Содержание компонентов в асфальтобетонной смеси, %						
		Щебень фракции		Песок	Отсев	МП	Вязущее	Стабилизирующая добавка
		5–10 мм	10–20 мм					
С	БНД 90/130	70	0	0	23	7	6,3	0,3
А	БНД 90/130	20	33	10	30	7	5,3	0
В	БНД 90/130	19	8	17	49	7	6,0	0
АЦМ	БНД 90/130	15	80	0	0	5	4,0	0,3

Таблица 2 – Результаты испытаний

Тип смеси	Главные напряжения		Максимальные касательные напряжения τ_{max} , МПа	Угол наклона площадки сдвига α , град
	σ_1 , МПа	σ_3 , МПа		
С	0,210	-0,111	0,161	-15
А	0,110	-0,299	0,201	-10
В	0,081	-0,211	0,146	-11
АЦМ	0,220	-1,300	0,760	-22

ре напряженно-деформированного состояния асфальтобетонов различного состава и, соответственно, об их деформационной устойчивости. Так, по значениям максимальных касательных напряжений можно сделать вывод о том, что наибольшей сдвигоустойчивостью обладают асфальтобетоны из АЦМ и далее – типов А, С и В.

Заключение

Разработанная методика позволяет определять основные характеристики напряженно-деформированного состояния асфальтобетона: главные нормальные и максимальные касательные напряжения и углы наклона площадок сдвига, – которые могут быть использованы для оценки деформационной устойчивости асфальтобетонов различных составов. ❖

Литература

1. Шумчик, В. К., Сериков, Д. Л. Определение фактического модуля упругости асфальтобетонов для расчета дорожных одежд // Аккредитация испытательных, калибровочных и поверочных лабораторий : тезисы докладов конференции / под общ. ред. докт. техн. наук Жагоры Н. А. – Минск : БелГИМ, 2008. – 200 с.
2. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : СТБ 1033-2004. – Введ. 2005-01-01. – Минск, 2004.
3. Рекомендации по устройству покрытий автомобильных дорог с использованием асфальто-цементного композиционного материала : ДМД 02191.2.050-2011.

Статья поступила в редакцию 14.05.2014