

АНАЛИЗ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ

Гавриленко С.Л.

The analysis of deformation properties of asphalt concrete by results of fatigue tests for prismatic samples on a three-dot bend has been carried out. It has been shown that the elastic-plastic model allows us to describe mechanical behaviour of a material adequately.

Введение.

Трудности описания деформационно-прочностных свойств асфальтобетона обусловлены тем, что указанные дорожно-строительные материалы, помимо сложного (композиционного) строения, в процессе эксплуатации испытывают комплексное термомеханическое воздействие [1-4]. Для расчетного прогнозирования состояния и срока службы дорожного покрытия необходимо построение адекватных моделей асфальтобетона с использованием мезомеханического [5] либо макромеханического [3] подходов.

Целью настоящей работы является математическое описание деформирования асфальтобетона в условиях малоцикловых усталостных испытаний на трехточечный изгиб призматических образцов.

Методика исследования.

Для идентификации модели деформирования анализировались данные циклических испытаний асфальтобетона, выполненных по методике [6], с использованием образцов, изготовленных в БелдорНИИ. Нагружение стандартного призматического образца по схеме трехточечного изгиба производилось сферическим индентором на прецизионном стенде для механических испытаний Инстрон 5567. Циклическая нагрузка составляла 30% от усилия, соответствующего статической прочности образца. Длительность цикла составляла 1 с. Поскольку основной характеристикой при таких испытаниях является прогиб в центре образца, достаточно информативной является диаграмма «усилие (Н) – перемещение (мм)».

В соответствии с классификацией [7] асфальтобетоны представляют собой типичные функциональные композиционные материалы, в которых для сохранения структуры в процессе эксплуатации разработчиком закладываются особые физико-механические свойства вяжущего (на основе битума). Важность рассматриваемых материалов делает актуальным уточненное и вместе с тем удобное для прикладных расчетов описание диаграммы деформирования. В частности, в настоящей работе использована модель бимодульной упругости [4], согласно которой в качестве основных характеристик используется два модуля Юнга, коэффициент Пуассона можно принять согласно справочным данным $\nu = 0,17$. При выводе основных соотношений используется известный подход, описанный в [7,8]. В качестве обобщения модели бимодульной упругости применима упругопластическая модель с критерием пластичности по Мизесу с возможностью учета упрочнение и движение поверхности текучести в пространстве девиатора напряжений.

Методика определения характеристик асфальтового раствора.

В качестве модельной будем использовать одномерную постановку задачи о трехточечном изгибе с использованием гипотезы нормальных сечений [7]. В

качестве неизвестной рассматривается функция прогиба $v(x)$, для определения которой используется дифференциальное уравнение 4-го порядка [7]:

$$\frac{d^4 v(x)}{dx^4} = \frac{q(x)}{EJ},$$

где $q(x)$ – нормальная нагрузка, действующая вдоль оси симметрии OX бруса, E – модуль Юнга материала, J – момент инерции сечения призматического образца асфальтобетона (в данном случае он равен 218700 мм^4). Решением указанного дифференциального уравнения является следующая функция:

$$v(x) = C_0 + C_1 x + C_2 x^2 + C_3 x^3 + \int \int \int \int \frac{q(x)}{EJ} dx.$$

Постоянные C_0 , C_1 и C_2 можно найти из 4-х уравнений, полученных из начальных и граничных условий. Граничные условия дают следующие два уравнения для нахождения произвольных констант:

$$v(0) = 0; \quad v(L) = 0.$$

Из условия симметрии функции прогиба, в условиях заданной распределенной нормальной нагрузки, симметричной относительно начала координат, можно использовать следующее уравнение для определения произвольных констант:

$$\frac{dv\left(\frac{L}{2}\right)}{dx} = 0.$$

Для 5-и параметров (4-х произвольных констант и неизвестного модуля Юнга) имеем 3 уравнения. Недостающие уравнения можно получить из двух экспериментальных точек. После несложных математических преобразований имеем следующее выражение для модуля Юнга (E):

$$E = \frac{1}{J} \frac{q_2^{\max} - q_1^{\max}}{v_2 - v_1} \left(\left(1 + \frac{L}{4}\right) \frac{L^4}{d^2 4!} - \frac{L^5}{2^6 d 5!} \right).$$

Здесь L – расстояние между опорами, d – полуширина пятна контакта, q_i^{\max} – максимальная нагрузка в i -ом испытании, J – момент инерции, v_i – значение прогиба в i -ом испытании.

Анализ имеющихся данных по усталостному разрушению асфальтового раствора.

При расчете область под индентором считается малодеформированной (квadrатами компонент градиента перемещений можно пренебречь) и можно воспользоваться допущениями линейной теории упругости [8]. Максимальная нагрузка под индентором зависит от пятна контакта индентора и материала образца. Учитывая линейность задачи она рассчитывалась из линейных соотношений (отсутствие контакта при нулевом усилии, максимальная при $P = 700 \text{ Н}$). Всего производилось 54 цикла нагружения и разгрузки. Пример отдельного цикла деформирования, аппроксимированного линейными отрезками, представлен на рис. 1.

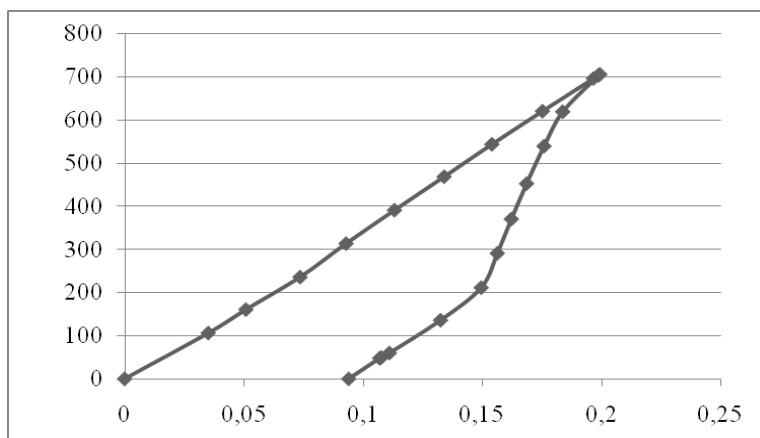


Рис. 1. Зависимость «Перемещение (мм) – усилие (Н)» в 1-ом цикле испытания с 54 циклами до разрушения.

Аналогичные данные для остальных выбранных циклов приведены на рис. 2, 3.

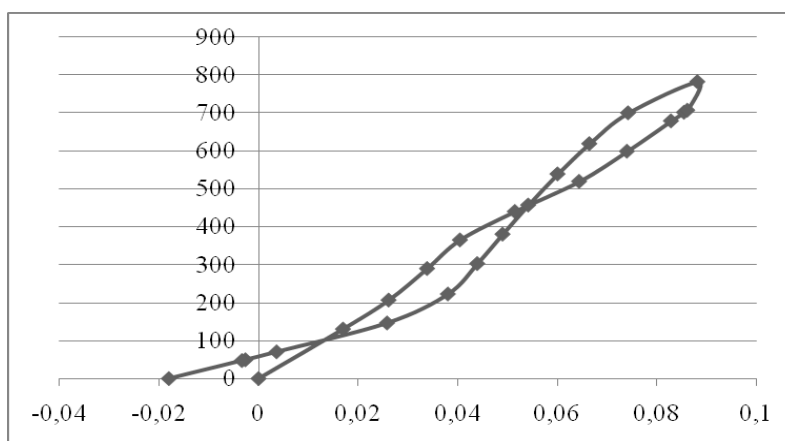


Рис. 2. Зависимость «Перемещение (мм) – усилие (Н)» в 27-ом цикле испытания.

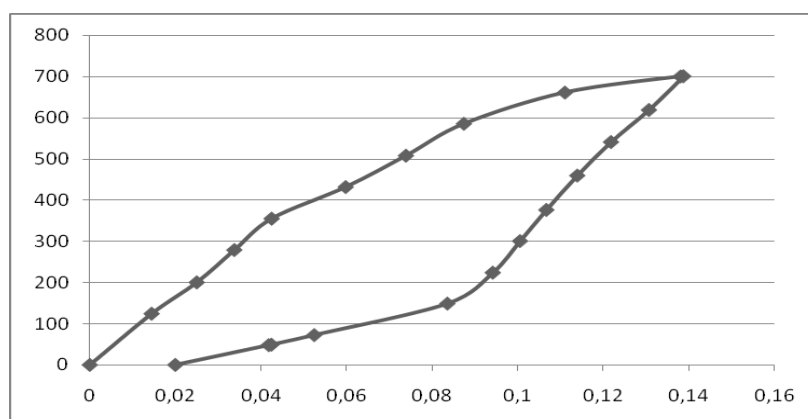


Рис. 3. Зависимость «Перемещение (мм) – усилие (Н)» в 54-ом цикле испытания.

Для расчета механических характеристик была написана программа в среде Mathcad 2001. Результаты расчетов представлены в таблицах 1-3. При расчете упругих модулей учитывалось то, что закон деформирования бруса линейно упругий, и прогиб с отрицательным знаком по модулю равен прогибу, полученному при нагрузке с противоположным знаком. Линейно упругий участок при расчете

может начинаться с ненулевого прогиба и с ненулевой силы и необходимо учитывать при расчетах.

Таблица 1.

Геометрические и механические характеристики 1-го цикла

№	$v_{\text{нач}}(x)$	$v(x)$	P , Н	q_{max} , МПа	E , МПа
1	0	0,035	106,0	1,93	528
2	0	0,051	160,1	2,92	528
3	0,051	0,113	390,3	4,21	578
4	0,051	0,175	619,3	8,41	578
5	0,175	0,168	351,8	4,90	731
6	0,175	0,150	211,0	6,44	731
7	0,150	0,133	135,7	1,37	540
8	0,150	0,108	49,6	2,95	540

Из приведенных таблиц следует, что значение относительного изменения прогиба уменьшается с ростом количества приложенных циклов. Максимальная нагрузка уменьшается, что вызвано увеличением ширины пятна контакта сферического индентора с материалом. Значения упругих модулей также уменьшается, что вызвано деградацией свойств рассматриваемого композита.

Таблица 2.

Геометрические и механические характеристики 27-го цикла

№	$v_{\text{нач}}(x)$	$v(x)$	P , Н	q_{max} , МПа	E , МПа
1	0	0,017	130,4	1,91	642
2	0	0,040	365,0	3,64	642
3	0,040	0,054	456,9	1,68	543
4	0,040	0,085	701,2	3,65	543
5	0,074	0,060	538,8	1,31	632
6	0,074	0,049	380,4	2,05	632
7	0,038	0,025	146,4	1,39	499
8	0,038	-0,002	49,5	2,79	499

Таблица 3.

Геометрические и механические характеристики 54-го цикла

№	$v_{\text{нач}}(x)$	$v(x)$	P , Н	q_{max} , МПа	E , МПа
1	0	0,025	200,2	3,66	489
2	0	0,043	355,0	4,69	489
3	0,043	0,074	507,8	2,79	461
4	0,043	0,111	661,1	4,99	461
5	0,138	0,122	540,9	3,46	683
6	0,138	0,094	224,0	5,7	683
7	0,083	0,052	72,3	1,40	367
8	0,083	0,042	49,0	1,83	367

Заключение.

Проанализированы деформационно-прочностные свойства асфальтобетона в условиях циклического трехточечного изгиба призматического образца. Установлено, что использование упругопластической модели деформирования позволяет адекватно описать деформационные характеристики асфальтобетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веренько, В.А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства / В.А. Веренько. – Мн.: Наука и техника, 1993. – 246 с.
2. Малышев, А.А. Исследование влияния характеристик структуры на деформативность асфальтобетонного слоя / А.А. Малышев // Известия вузов. Строительство. – 2004. – № 6. – С. 74-78.
3. Богуславский, А.М. Основы реологии асфальтобетона / А.М. Богуславский, Л.А. Богуславский. – М.: Высшая школа, 1972. – 321 с.
4. Черноус Д.А., Шилько С.В., Кравченко С.Е. Мезомеханический подход к описанию деформационно-прочностных свойств асфальтобетона // Автомобильные дороги и мосты. – 2009. – Т. 3, № 1. – С. 49-55.
5. Шилько, С.В. Механика адаптивных композитов и биоматериалов / С.В. Шилько, Ю.М. Плескачевский // Материалы, технологии, инструмент. – 2003. – № 4. – С. 5–16.
6. Кравченко С.Е. О связи деградации структуры и гистерезисных потерь при циклическом нагружении асфальтобетона // Автомобильные дороги и мосты. – 2009. – Т. 3, № 2. – С. 5-9.
7. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов. Элементарная теория и задачи. Т.1 / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 365 с.
8. Тимошенко, С.П. Сопротивление материалов. Более сложные вопросы теории и задачи. Т.2 / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 480 с.