

## **Новые подходы к оценке усталостной долговечности асфальтобетона**

Кравченко С.Е. – канд.техн.наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог»

В процессе эксплуатации асфальтобетонных дорожных покрытий происходит постепенное снижение их прочностных и других физико-механических характеристик, обусловленные процессами необратимых разрушений (деградации) структуры материала [1,2]. Очевидно, что указанный процесс имеет механохимическую природу. Механический (деформационный) фактор деградации структуры асфальтобетона представляет собой накопление необратимых изменений в виде трещин, микросдвигов и других повреждений в результате действия транспортных нагрузок и погодно-климатических факторов. Важным элементом научных основ материаловедения и технологии формирования дорожных покрытий является прогнозирование усталостной долговечности асфальтобетонов с учетом процессов деградации.. Если для конструкционных металлов усталостная теория в определенной степени разработана, то в свете существующих представлений об асфальтобетоне, как существенно неоднородном и физически нелинейном материале, методика прогнозирования должна быть основана на анализе экспериментальных данных оциклической долговечности образцов.

Альтернативный подход предусматривает проведение имитирующих эксплуатационную нагрузку лабораторных механических испытаний, предусматривающих циклическое нагружение стандартных образцов правильной геометрической формы. Асфальтобетон, как правило, подвержен воздействию сложных режимов нагружения, когда последовательность значений амплитуд и средних напряжений цикла изменяется случайным образом – случайное нагружение. При случайном нагружении суммарное число циклов до разрушения зависит от характера нагружения – максимальных значений напряжений, доли максимальных напряжений в суммарном числе циклов нагружения, среднего напряжения цикла, частоты нагружения, последовательности высоких и низких напряжений и других факторов. Все это требует разработки метода испытаний асфальтобетона на усталостную долговечность в лабораторных условиях с воспроизведением основных особенностей случайного нагружения и создания расчетных методов, позволяющих по результатам

испытаний при регулярном нагружении оценивать прочность при случайном нагружении. Из существующих методов экспериментальных исследований усталостных свойств конструкционных материалов применительно к асфальтобетона следует выделить усталостные испытания при асимметричном цикле нагружения, как наиболее достоверно отражающие реальные условия эксплуатации дорожных покрытий.

Для асфальтобетона, как упруго-вязко-пластичного материала, проблема прогнозирования усталостной долговечности усложняется релаксационными процессами, наличием механического гистерезиса и выраженной зависимостью деформационно-прочностных свойств асфальтобетона от температуры. При периодическом деформировании этих материалов происходит сдвиг фаз между деформацией и напряжением (рис.1), что обуславливает образование так называемой петли гистерезиса, площадь которой соответствует потере энергии при вязком течении материала.

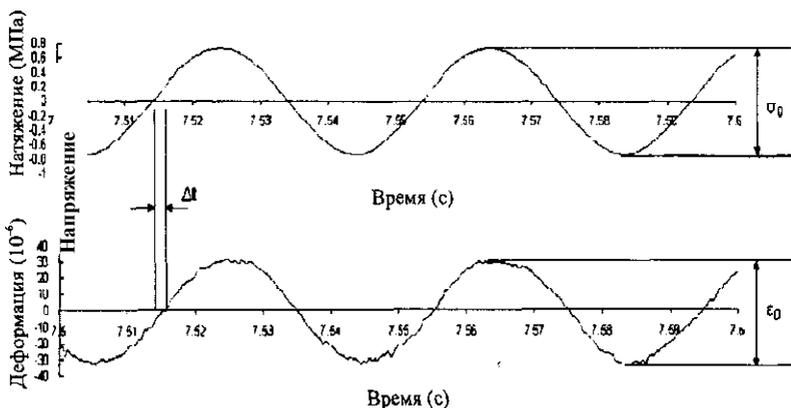


Рисунок 1 - Запаздывание по времени между напряжением и деформацией

Все материалы по изменению их особенностей сопротивляться упругопластическим деформациям при цикловом нагружении делят на три класса: циклически упрочняющиеся, циклически разупрочняющиеся и циклически стабилизирующиеся или идеальные.

Циклически упрочняющиеся материалы, материалы у которых при мягком нагружении происходит уменьшение с ростом числа циклов ширины петли гистерезиса, а при жестком — увеличение экстремальных напряжений цикла, сопровождающееся деформационным упрочнением материала.

Циклически разупрочняющиеся материалы, у которых при мягком нагружении происходит увеличение с ростом числа циклов ширины петли гистерезиса, а при жестком — уменьшение экстремальных напряжений цикла, сопровождающееся деформационным разупрочнением материала.

Циклически стабилизирующимися (идеальными) называются материалы, у которых при мягком и жестком нагружениях с ростом числа циклов не происходит изменения ширины петли гистерезиса, значений экстремальных напряжений цикла и характеристик упрочнения.

Изменение суммарных пластических деформаций в процессе циклического нагружения в зависимости от числа полуциклов для некоторых материалов показано на рис. 1[3]. Схема на рис. 1а характерна для циклически упрочняющихся материалов, когда остаточная деформация за полуцикл (ширина петли) с увеличением числа циклов уменьшается, а пластическая деформация, накопленная в процессе циклического деформирования, стремится к некоторой постоянной предельной величине. Проведенные эксперименты показывают, что такая картина сохраняется при различных значениях параметра асимметрии цикла вплоть до момента образования трещины. Для циклически стабильных материалов с неизменной шириной петли картина деформирования соответствует схеме на рис. 1, б, если ширина петель в четном и нечетном полуциклах различна; при этом происходит непрерывное одностороннее накопление деформации и интенсивность ее роста непосредственно перед разрушением увеличивается. Характер процесса циклического деформирования в этом случае существенно зависит от степени асимметрии цикла. Так, для циклически стабильной углеродистой стали при симметричном цикле рост деформаций не наблюдается, в то же время малая асимметрия вызывает интенсивное накопление деформаций в направлении действия максимального напряжения цикла. Циклически разупрочняющиеся материалы характеризуются увеличением ширины петли и суммарной деформации, причем деформации могут накапливаться в обоих направлениях действия нагрузки (рис. 1, в). Для циклически разупрочняющихся материалов накопление деформации также

существенно зависит от асимметрии цикла и происходит в направлении действия максимального напряжения.

Такое деление материалов на упрочняющиеся, стабильные и разупрочняющиеся носит условный характер, так как в ряде случаев с числом циклов ширина петли может уменьшаться (упрочнение), а затем оставаться неизменной или даже увеличиваться; с ростом исходной деформации упрочнение может сменяться разупрочнением и т. д. в зависимости от исходных состояний. Подобное поведение материала может быть отнесено и к асфальтобетону.

При асимметричном цикле разрушение развивается в основном только в фазе растяжения. Фазы отдыха или сжатия сказываются на процессе разрушения при последующем растяжении через изменение структуры и перераспределение напряжений в результате релаксационных процессов. Поэтому важно соотношение периода релаксации и периода цикла нагружения.

Для асимметричного цикла нагружения в случае циклически стабилизирующихся и разупрочняющихся материалов, помимо амплитудного значения напряжений а существенное влияние на ширину петли оказывает среднее напряжение цикла.

С целью изучения влияния соотношения сжимающей и растягивающей нагрузки на усталостную прочность асфальтобетона были проведены циклические испытания стандартных образцов цилиндрической формы диаметром  $D = 70$  мм при варьировании коэффициента асимметрии нагрузки  $r$ , равного отношению растягивающего  $T$  и сжимающего  $N$  усилий. В качестве средства нагружения применяли высокоточный стенд Instron 5567. Для фиксации образца при действии растягивающей нагрузки использовали специальное приспособление, позволяющее реализовать максимальный коэффициент асимметрии нагрузки  $r = -0,2$ . Задавался «мягкий» режим нагружения, при котором в каждом цикле нагружения автоматически обеспечивалось постоянство амплитуды сжимающего и растягивающего усилия  $P = 6000$  Н. Растягивающее усилие задавалось пропорциональным усилию сжатия ( $T = r N$ ). В свою очередь, амплитуда сжимающего усилия определялась, исходя из прочности статической прочности асфальтобетона указанного состава при сжатии. Температура испытаний составляла 20С. В качестве критерия начала разрушения принимали появление крупных трещин, что сопровождалось ростом диссипативных потерь и предшествовало полному разрушению образца .

Результаты испытаний представлены в таб. 1.

Таблица 1 - Зависимость усталостной долговечности асфальтобетона от коэффициента асимметрии нагрузки

Коэффициент асимметрии, $r$	-0,05	-0,1	-0,15
Номер цикла до разрушения $N$	3516	1459	729

Предварительные исследования показали нелинейную зависимость числа циклов до начала усталостного разрушения от коэффициента асимметрии нагрузки. Проведение дополнительных исследований позволит разработать метод прогнозирования усталостной долговечности асфальтобетонных дорожных покрытий, что является предметом дальнейших исследований.

Заключение: Определение усталостной долговечности асфальтобетона в условиях асимметричного цикла нагружения представляется наиболее достоверным, так как данные условия в наибольшей степени отражают реальные условия эксплуатации дорожных покрытий. Установлено существенное влияние коэффициента асимметрии на число циклов до разрушения. Это свидетельствует о том, что использованный подход позволяет оценить усталостную прочность асфальтобетона путем ускоренных (в несколько раз по сравнению с традиционными испытаниями при пульсирующем сжатии) малоцикловых испытаний.

#### Литература:

1. Веренько В.А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства / В.А. Веренько. – Мн.: Наука и техника, 1993. – 246 с.
2. Кравченко С.Е. Новые подходы к оценке структурной прочности асфальтобетона / С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2008. – № 2. – С. 49-52.
3. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин на прочность и долговечность. Справочник. - М.: Машиностроение, 1985 - 224 с.