

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ



УДК 625.85

• © В.А. Золотарёв, докт. техн. наук, профессор (ХНАДУ)

ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Аннотация. Предложен новый аспект оценки долговечности асфальтобетонов по продолжительности его жизни под постоянно действующими нагрузками по принципу ползучести. Показано, что продолжительность жизни гораздо объективнее характеризует долговечность асфальтобетона, чем показатели прочности и модули упругости. Продолжительность жизни рассматривается как альтернативный показатель циклической усталости. Это утверждение основывается на соответствии значений коэффициентов пластичности асфальтобетонов при циклических и статических испытаниях, при режимах загрузки и деформирования, при разных схемах напряженного состояния. Предложен ускоренный метод определения устойчивости асфальтобетонов, основывающийся на одновременном воздействии на асфальтобетон нагрузок и жидких агрессивных сред.

Ключевые слова: битум, асфальтобетон, усталость, продолжительность жизни, режимы механического воздействия, схемы напряженного состояния.

Анотація. Запропоновано новий аспект оцінки довговічності асфальтобетонів за тривалістю його життя під постійно діючими навантаженнями за принципом повзучості. Показано, що тривалість життя набагато об'єктивніше характеризує довговічність асфальтобетону, ніж показники міцності і модулі пружності. Тривалість життя розглядається як альтернативний показник циклової втоми. Це твердження ґрунтується на відповідності значень коефіцієнтів пластичності асфальтобетонів при циклічних і статичних випробуваннях, при режимах завантаження і деформування, при різних схемах напруженого стану. Запропоновано прискорений метод визначення стійкості асфальтобетонів, що ґрунтується на одночасному впливі на асфальтобетон навантажень та рідких агресивних середовищ.

Ключові слова: бітум, асфальтобетон, втома, тривалість життя, режими механічної дії, схеми напруженого стану.

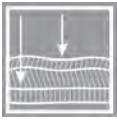
Annotation. A new aspect of the assessment of durability of asphalt on Duration of his life under the constant influence of load on the principles grip. It is shown that the life expectancy is much more objective characterizes asphalt durability than indicators of strength and modulus of elasticity. Life expectancy is considered as an alternative measure of the cyclic fatigue. This is based on the values of the coefficients under asphalt ductility under cyclic and static tests, loading and deformation modes, with various schemes of the state of stress. We propose a rapid method of determining the stability of the asphalt, which is based on the simultaneous effect on asphalt concrete loads and liquid aggressive media.

Key words: bitumen, asphalt, fatigue, life expectancy, modes of mechanical action, schemes stress.

Вступление

Развиваемая в последнее время концепция “вечных” нежестких дорожных одежд или одежд с большой продолжительностью жизни (БПЖ) [1, 2] базируется на усовершенствовании конструкций, технологий и использовании материалов высокого качества. Наибольшую сложность

в отношении прогнозирования долговечности как длительности жизни дорожных покрытий представляют асфальтовые материалы, являющиеся типичными реологическими телами, поведение которых во времени определяется консистенцией, температурным и напряженным состоянием битумных вяжущих.



Как правило, подход к долговечности асфальтобетона сводится к определению его механических характеристик, главными из которых являются прочность и модули упругости при различных схемах напряженного состояния. Эти и другие производные от них показатели включаются в нормативные документы. Тем не менее, не существует способов перехода от них к временным показателям долговечности, которые и должны являться сутью такого понятия.

В связи с этим возникает необходимость разработки и принятия таких критериев оценки асфальтовых материалов, которые определялись бы временем устойчивого поведения какого-либо показателя или совокупности показателей их свойств до наступления критического состояния. Поскольку разрушение асфальтобетона в конечном итоге происходит из-за потери сплошности пленки свободного, структурированного битума (асфальтовяжущего вещества) или адгезионного контакта на границе раздела фаз (сцепления), то в качестве показателя его долговечности можно принять время жизни от момента начала воздействия нагрузки до нарушения его сплошности*.

Существующий опыт и данные многочисленных исследований позволяют проиллюстрировать роль временного фактора в оценке поведения битумов и асфальтобетонов.

Время как наиболее чувствительная характеристика механического поведения битума

Процесс течения битума, оцениваемый временным критерием – вязкостью, обусловлен разрывом межмолекулярных связей тем большим, чем больше скорость деформирования или напряжения. Это отражается реологическими кривыми битумов трех структурных типов (рис. 1) [3]. Вяз-

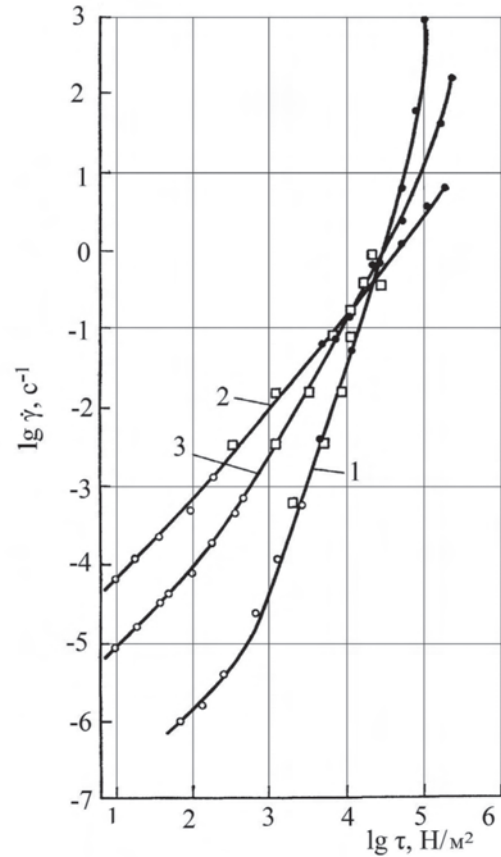


Рис. 1. Кривые течения при 25 °С битумов трех структурных типов: 1 – гель; 2 – золь; 3 – золь-гель

кость исключительно чувствительна к структурным особенностям битумов. В области неньютоновского течения увеличение напряжения в 10 раз вызывает падение вязкости битума типа “гель” – в 1000 раз, битума типа “золь-гель” в 40 раза, а битума типа “золь” – 16 раз.

Таблица 1

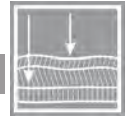
Чувствительность вяжущих разной консистенции по P_{25} , T_p , η_{60} , G''

№ п/п	Марка битума	Показатели свойств и степень отличия			
		$P_{25} \cdot 0,1$ мм	T_p , °С	η_{60} , Па·с	G'' , Па
1	35/50	47 / 1,00	52 / 0	$3,67 \cdot 10^2$ / 1,0	$9,90 \cdot 10^4$ / 1,00
2	50/70	61 / 1,30	49 / 3	$11,40 \cdot 10^2$ / 3,2	$5,83 \cdot 10^4$ / 1,70
3	70/100	90 / 1,90	46 / 6	$5,20 \cdot 10^2$ / 7,0	$2,74 \cdot 10^4$ / 3,60
4	БМП	53 / 1,13	73 / 21	$167,00 \cdot 10^2$ / 4,2	$7,63 \cdot 10^4$ / 1,29

Примечание. В знаменателе приведено отношение значения параметра вяжущего (2, 3, 4) к параметру битума 35/50 (1) и разность значений их температур размягчения.

* – Здесь не рассматривается случай образования новых поверхностей в каменных материалах при уплотнении или под движением транспорта.

Эта тенденция сохраняется и в отношении скоростных зависимостей когезии, когда изменение скорости сдвига битума марки с пенетрацией $52 \cdot 0,1$ мм в 100 раз сопровождается увеличением когезии при 20 °С в 5 раз, а битума с пенетрацией $113 \cdot 0,1$ мм в 12 раз [4].



Инверсия напряжений при высоких скоростях сдвига позволяет понять, почему когезия битумов типа “золь” больше, чем битумов типов “золь-гель” и “гель”, и почему подобно этому изменяется прочность асфальтобетонов на битумах разных типов.

Убедительной иллюстрацией повышенной чувствительности реологического параметра – вязкости, по сравнению с пенетрацией (P_{25}), температурой размягчения (T_p) и динамическим модулем сдвига битума, являются данные табл. 1 [5].

Среди приведенных в табл. 1 вяжущих три являются чистыми битумами с разной пенетрацией, а четвертый – БМП получен модификацией битума 70/100 полимером SBS. По пенетрации битум 70/100 менее тверд, чем битум 35/50 в 1,9 раза. При этом разница их температур размягчения составляет 6 °С. Разница между температурой размягчения чистого битума 35/50 и БМП составляет 21 °С, тогда как разница по пенетрации очень мала – 6·0,1 мм. Модуль потерь (G'') битума 70/100 в 3,6 раза меньше, чем битума 35/50. Он же в случае БМП в 1,29 раза ниже, чем чистого битума близкой 35/50 пенетрации. Значение модуля потерь находится в качественной и количественной связи с пенетрацией, как было неоднократно доказано ранее в отношении комплексного модуля упругости битумов [6, 7]. В то же время наиболее чувствительный к особенностям битумов является вязкость при 60 °С. Битум 70/100 менее вязок, чем битум 35/50 в 7 раз, а БМП при близкой пенетрации вязче битума 35/50 в 4,2 раза, что соответствует тенденции изменения температуры размягчения. Эти данные отчетливо свидетельствуют о большей чувствительности к особенностям структуры битума показателя вязкости, чем традиционные и, даже, модуль потерь при сдвиге G'' .

В [8] представлены результаты исследований течения битума при циклической ползучести, на основе которых предлагалось прогнозировать колеобразование, заменив таким образом критерий $G^*/\sin\delta$, используемый для этой цели в системе SHRP, который, по мнению авторов [8], характеризуется слабой чувствительностью к реологическим особенностям битумов.

В [9] предпринята попытка объяснить разрушение асфальтобетона при низких температурах усталостным трещинообразованием в битуме и асфальтовяжущем веществе. Для этой цели использован динамический сдвиговый реометр, работающий по схемам конус-плоскость и цилиндр-цилиндр в режиме релаксации напряжений. Приведенные для достаточно твердых битумов данные свидетельствуют об исключительно высокой чувствительности количества циклов к накоплению разрушений в битумном образце. Согласно данным [9] уменьшение значения модуля сдвига в 2 раза соответствует снижению количес-

тва циклов в 3,3 раза, а увеличение деформации при испытании асфальтовяжущего в 1,6 раза сопровождается уменьшением количества циклов нагружения в 5 раз.

Подобные этим результаты получены в [4] в ходе определения времени жизни битумных пленок при температуре минус 20 °С под постоянно действующей нагрузкой. Изменению величины действующего напряжения при изгибе битумных балочек в 1,4 раза отвечало увеличению времени жизни в 2,4 раза.

В отношении битума также показательными являются зависимости сцепления битумной пленки от времени действия водной среды (рис. 2). Ранее было показано [10], что с повышением температуры воды сцепление битума (площадь, покрытая битумом после испытания) с твердой подложкой резко уменьшается. Чем большее время термостатирования, тем больше степень отслоения.

Для случая, приведенного на рис. 2, при переходе от 80 °С до 90 °С сцепление в диапазоне времени от 8 минут до 80 минут уменьшается на 30 % и 40 %. Время же достижения уменьшения сцепления на 50 % падает в 6,25 раза. После введения ПАВ этот же уровень сцепления при температуре 90 °С достигается за промежуток времени в 9,4 раза больший. Рассматривая, отслаивающее действие воды, как один из активных элементов разрушения асфальтобетона, носящего молекулярный характер, можно утверждать, что и в отношении процессов, происходящих на границе раздела фаз битум – минеральная подложка время является гораздо более чувствительным критерием оценки, чем величина сцепления.

Таким образом, данные по адгезионно-временной зависимости, по зависимости вязкости

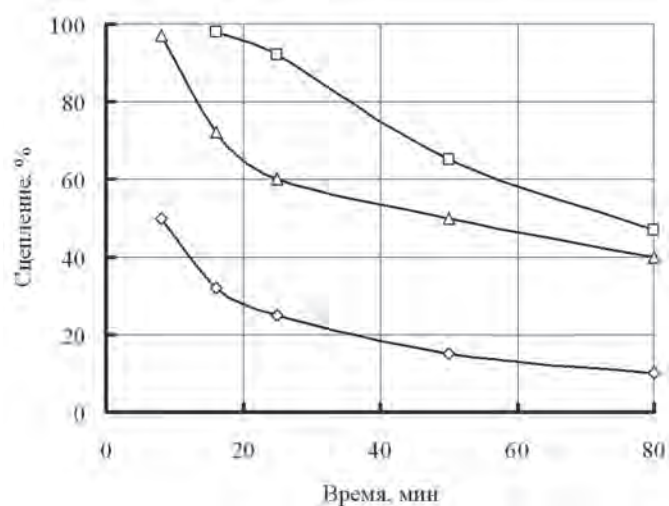
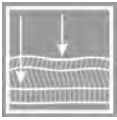


Рис. 2. Зависимость сцепления от времени термостатирования чистого битума (Δ – при 80 °С, \diamond – при 90 °С) и битума с добавкой ПАВ (\square – при 90 °С)



от напряжения, по усталостным зависимостям битума показывают, что критерии, включающие скорость деформирования, время действия нагрузки или количество циклов до обусловленного уровня разрушения битумов, являются гораздо более чувствительным, чем напряжения его вызывающее.

Временные зависимости свойств асфальтобетона

В виду того, что битум является единственной в асфальтобетоне реологической составляющей, временная зависимость его свойств сообщается асфальтобетону. Первым подтверждением этому явилось установление Н.Н. Ивановым и М.Я. Телегиным в СССР [11] и М. Дюръезом во Франции [12] скоростной зависимости прочности асфальтобетона. Это привело к необходимости учета скорости его деформирования при нормировании показателей прочности на сжатие: в СССР – 3 мм/мин, во Франции – 60 мм/мин. Что касается модулей упругости, то их расчетные значения определяют в Украине и России при времени действия нагрузки 0,1 с, а во Франции при частоте синусоидальных колебаний – 15 Гц, т.е. при времени воздействия почти в 10 раз меньше. Но даже знание коэффициента пластичности асфальтобетона, как показателя степенной зависимости прочности или модуля упругости при различных схемах напряженного состояния, не позволяет предсказывать его долговечность в размерности времени.

Именно поэтому к настоящему времени зарубежом накопилось множество работ по установлению выносливости асфальтобетона при циклических нагружениях, функционально связанной со временем. В Украине практически единственная работа в этом направлении выполнена И.М. Щербаковым [13]. Показателем выносливости служит количество циклов до разрушения под действием нагрузок и соответственно возникающим вследствие этого напряжением в образце. При стендовых испытаниях, призванных моде-

лировать эксплуатационные условия асфальтобетона, устанавливаются зависимости количества проходов от нагрузки на ось испытательных тележек.

Расположение таких зависимостей в координатах – количество циклов от действующих напряжений или деформаций зависит от формы воздействия (синусоидальное, циклическое в виде прямоугольника или треугольника), от уровня загрузки относительно нулевого значения напряжения в образце, от частоты загрузки в случае синусоидального воздействия или режима загрузки (периодов нагрузок и отдыха) при воздействии, отличающемся от синусоидального. Больше того, в ЕС [14] практикуется метод определения показателя усталости по схеме синусоидального изгиба асфальтобетонного образца при нормируемой деформации как количества циклов, при котором возникающие при нормированном деформировании напряжения снижаются на 50 % от начального. Это может рассматриваться как релаксационная усталость.

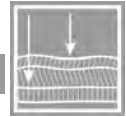
При расчете долговечности нежестких дорожных одежд обычно ориентируются на разное количество циклов воздействий (проходов). В разных источниках оно колеблется: 30 млн – для 30 лет службы; 200 млн проходов для 30 лет службы; 100 млн – 230 млн проходов с нагрузкой на ось 8,0 т (80 кН) для “вечных дорог” [1, 2]. Обычно в лабораториях определяют циклическую выносливость на базе не более 10^7 циклов до разрушения. Если предположить, что продолжительность воздействия близка к 0,1 с, то общее время жизни составит около 7 часов, т.е. более 11,6 суток. Циклические испытания на усталость на базе такого количества, циклов считаются уникальными. Ни в СССР, ни в России, ни в Украине они не выполнялись и не предвидятся.

Одним из видов циклических испытаний асфальтобетона являются испытания на колееобразование. Именно они являются бесспорным аргументом в пользу большей разрешающей способности времени жизни асфальтобетона. Критерием стойкости против колееобразования

Таблица 2

Влияние консистенции битумного вяжущего на колееобразование

Марка битума	Показатели колееобразования и степень их различия		
	Колея в мм после $3 \cdot 10^4$ проходов	К-во проходов при колее 3 мм	К-во проходов при колее 5 мм
35/50	1,25 / 1,0	$1,5 \cdot 10^6$ / 1,0	–
50/70	2,50 / 2,0	$6,0 \cdot 10^4$ / 25,0	$1,00 \cdot 10^6$ / 1,0
70/100	7,00 / 5,6	$7,0 \cdot 10^3$ / 214,0	$1,75 \cdot 10^4$ / 57,0
БМП	0,88 / 1,4	$8,0 \cdot 10^5$ / 1,9	–



повсеместно считается глубина колеи. Она оценивается в миллиметрах или процентах от толщины плиты. Для асфальтобетонів разного назначения после $3 \cdot 10^4$ проходов пневмоколеса при 60°C она нормируется дифференцировано. Для наиболее распространенного во Франции среднещебенистого асфальтобетона она не должна превышать 10 % [15]. При толщине плиты 10 см колея должна быть меньше 10 мм. Часто колея находится в пределах 3 – 5 мм. Эти значения очень малы, они недостаточно чувствительны к особенностям состава и структуры асфальтобетона, а реальные условия измерения колеи позволяют оценить ее с точностью $\pm 0,5$ мм, что может привести к большим погрешностям при малых глубинах.

Для рассмотренного выше примера (табл. 1), иллюстрирующего чувствительность различных показателей к особенностям битумов, в [5] получены значения показателей колееобразования, которые приведены в табл. 2.

Эти данные свидетельствуют о том, что при значениях пенетрации, отличающихся не более, чем в два раза, и значениях глубины колеи, после $3 \cdot 10^4$ проходов, отличающихся не более, чем в 5,6 раза, количество проходов, необходимое для достижения колеи равной 3 мм, отличается в десятки, даже в сотни раз. Характерно также, что в случае БМП это количество даже в 1,9 раза меньше, чем в случае битума 35/50 с близкой пенетрацией.

Реакция колееобразования в асфальтобетонах (по глубине колеи) и времени жизни (по количеству проходов) под воздействием различных факторов может быть проиллюстрирована результатами анализа данных, приведенными в [16]. При переходе температуры от 60°C к 50°C и при равном количестве проходов (10^5 циклов) глубина колеи уменьшается от 4 мм до 3 мм, а количество циклов увеличивается от $6 \cdot 10^3$ до 10^5 , т.е. в 17 раз; при переходе от битума с пенетрацией $39 \cdot 0,1$ мм к битуму с пенетрацией $76 \cdot 0,1$ мм при 10^5 проходов колея увеличивается от 4,8 мм до 7,8 мм, а количество циклов уменьшается до $4 \cdot 10^3$, т.е. в 25 раз; введение 10 % окатанного песка крупностью 4 мм, вместо дробленного, увеличивает колею всего на 1 мм, а время достижения колеи, равной 5 мм, снижается с $4 \cdot 10^4$ до $8 \cdot 10^3$, т.е. в 5 раз; введение 10 % мелкого песка крупностью 0,2 мм уже после 10^3 проходов увеличивает колею на 4 мм, т.е. в два раза, а количество циклов, необходимых для достижения колеи, равной 5 мм, уменьшается в 50 раз. Это может быть объяснено тем, что авторы [16] выполнили эксперимент в очень узком диапазоне изменения содержания битума. Увеличение содержания битума в асфальтобетоне на дробленном песке с 6,05 % до 6,40 % практически не сказалось ни на глубине колеи, ни на количестве циклов; увеличение же содержания битума

с 6,00 % до 6,25 % в асфальтобетоне, включающем 10 % окатанного песка уже после 10^3 проходов увеличило колею с 8 мм до 12 мм. При этом количество циклов, необходимых для достижения этой глубины уменьшилось вдвое. Интересен факт увеличения колеи с переходом от непрерывного типа гранулометрии к преривистому при том, что растет и содержание щебня и прочность асфальтобетона.

Данные по асфальтобетонам на БМП и на чистом битуме при их пенетрации соответственно $53 \cdot 0,1$ мм и $47 \cdot 0,1$ мм, модулях упругости $4,55 \cdot 10^4$ и $4,34 \cdot 10^4$ МПа и температурах размягчения 73°C и 52°C показывают, что в первом случае после $3 \cdot 10^4$ проходов пневматика колея равна 0,88 мм, а во втором 1,25 мм, тогда как количество проходов необходимое для образования колеи глубиной 3 мм в первом случае равно $8 \cdot 10^5$, а во втором $1,5 \cdot 10^6$. Это в который раз свидетельствует о том, что температура размягчения не является параметром, по которому можно судить о колеустойчивости асфальтобетонів на чистых битумах и битумах, модифицированных полимером типа SBS в количестве, по крайней мере, большем 2,5 – 3,5 % [7]. В то же время нельзя выпускать из вида, в каких по содержанию щебня и минерального порошка асфальтобетонах применяются эти вяжущие.

Многообразие методов оценки циклической усталости по деформационно-прочностным показателям не может не сказаться на сопоставляемости получаемых результатов. Кроме того, во всех случаях нужно переводить полученное экспериментом количество циклов в долговечность, трактуемую как время жизни асфальтобетона в покрытии с учетом интенсивности, состава, скорости движения, типов осей подвижного состава. Остается неясным как учитывать при этом суточное и годовое изменение температуры, влияния рабочих сред и др.

Время жизни под постоянной нагрузкой как показатель долговечности асфальтобетона

Многие из сопутствующих циклическим испытанием на усталость неопределенностей могут быть устранены испытанием на статическую усталость при ползучести (в трактовке школы С.Н. Журкова [17] долговременную прочность). Определение статической усталости при испытаниях на ползучесть не представляет особого труда. Суть этого метода заключается в том, что образцы асфальтобетона в лабораторных условиях подвергается действию серии постоянных нагрузок, вызывающих в образцах соответствующие той или иной схеме напряженного состояния напряжения, приводящие их к разрушению. Таким образом можно определить зависимости

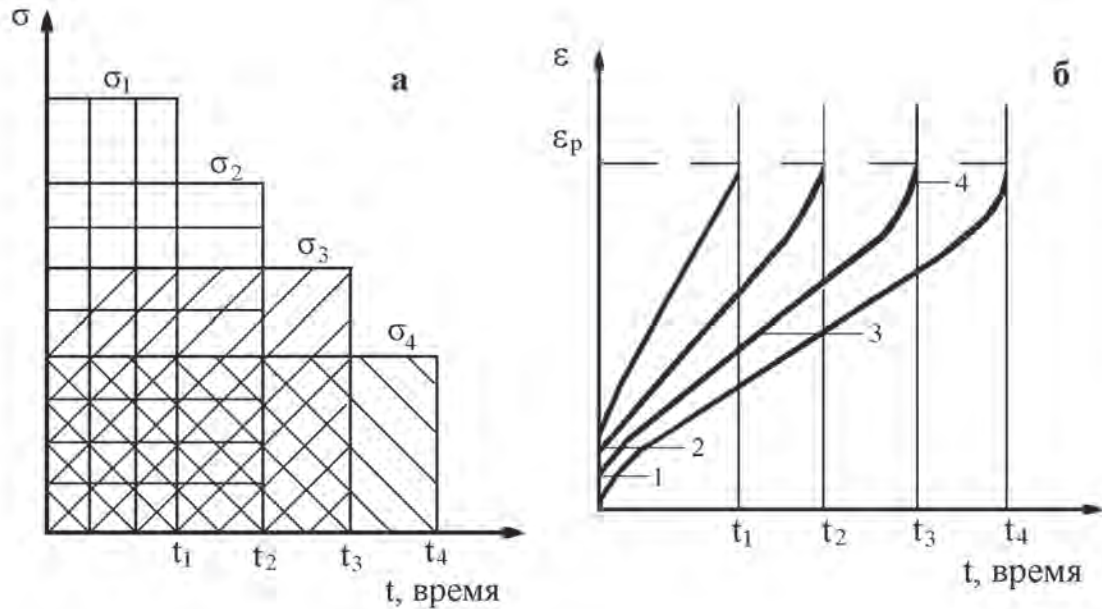
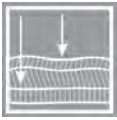


Рис. 3. Схема загрузения при испытании в режиме постоянных напряжений ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > \sigma_4$) (а) и характер развития деформаций до разрушения (ϵ_p) за время $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ (б)

статической усталости т.е. времени жизни асфальтобетона от меняющихся нагрузок (рис. 3).

При испытаниях малыми нагрузками можно найти ответ на вопрос существует ли предел долговременной прочности для тех или иных типов асфальтобетонных, что в свою очередь позволит определить, какой прочностью должен обладать асфальтобетон для обеспечения проектной продолжительности жизни. При этом можно утверждать, что результаты такого испытания представляют собой самый жесткий случай, когда асфальтобетон не отдыхает ни между циклами, ни в период низкой загруженности, ни за счет снижения температуры. Такие испытания отличаются простотой эксперимента, его полной воспроизводимостью и получением результата, максимально приближенного к понятию долговечности.

Изменение этих времен жизни от напряжения при сдвиге и изгибе показаны соответственно на рис. 4. Такого рода испытания на основе растяжение проведены в 50-х годах Н.В. Горелышевым и А.М. Гоглидзе. В своих работах они преследовали цель определить скорость течения асфальтовых систем и их вязкость. Они не обращали внимания на время жизни асфальтобетонных под разными нагрузками, хотя продолжительность жизни при малых напряжениях достигала 113 часов. Но обработка их данных привела к установлению зависимостей полностью идентичных тем, что были получены на основе специальных испытаний на статическую усталость [18].

Простые сопоставления времен жизни под действием различных факторов показывают, что они во много раз чувствительнее, чем прочность, к особенностям самого асфальтобетона, к темпе-

ратуре испытания и другим факторам. Так, прочность асфальтобетонных на сжатие при изменении пенетрации битума от 46·0,1 мм до 143·0,1 мм, т.е. в 3,1 раза, изменяется в 1,5 раза, а время жизни в 7,2 раза; прочность асфальтобетона при переходе от температуры испытания 20 °С к 50 °С уменьшается в 2,1 раза, а время жизни в 790 раз.

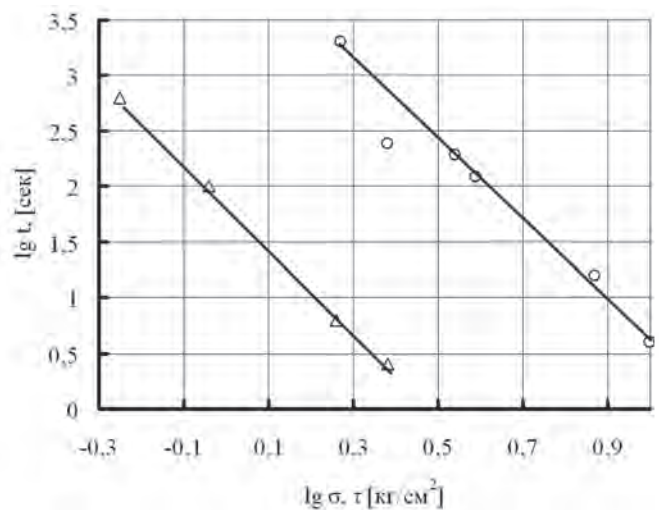
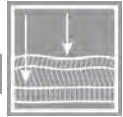


Рис. 4. Зависимость времени жизни от напряжения асфальтобетона типа В при сдвиге (Δ) и изгибе (\circ) [20]

Эти соотношения мало зависят от схемы напряженного состояния. Так изменение температуры испытания от 20 °С до 50 °С в аналогичных напряженных условиях приводит к уменьшению времени жизни при сдвиге до 1500 раз, а изгибе – 1000 раз. При переходе от битума с пенетрацией 78·0,1 мм к битуму с пенетрацией 168·0,1 мм время



жизни асфальтобетона при изгибе изменяется в 5 раза, а при сдвиге в 5,5 раза [19, 20].

Естественно, что эти огромные различия во многом обусловлены несопоставимостью уровня напряженного состояния для асфальтобетонов на битумах разных марок. Нагрузка, которая для асфальтобетона на битуме с малой пенетрацией вызывает напряжения, далекие от разрушающих при однократном испытании, для асфальтобетона на маловязком битуме может быть близка к критической. С этим связана область применения тех или иных видов асфальтобетонов на дорогах разных категорий. Чем меньше интенсивность движения, чем меньше приведенная нагрузка на ось, тем менее прочный асфальтобетон может применяться. Однако это не означает, что он будет обязательно менее долговечен в дороге низкой категории под менее интенсивное и легкое движение. Из-за меньшего уровня нагружения применение такого асфальтобетона может быть функционально оправданным. В то же время даже немногочисленные проезды большегрузных транспортных средств могут разрушить дорожную одежду. Однако чаще всего определяющей в этом случае может быть низкая несущая способность самой дорожной одежды.

Чтобы привести все разновидности асфальтобетонов к сопоставимым условиям, нужно проводить испытания при одинаковых уровнях напряженного состояния. Для этого по принятой схеме напряженно-деформированного состояния (сжатие, изгиб, растяжение, сдвиг) при определенной скорости деформирования не меньшей, чем стандартная, а целесообразней при скорости близкой к скорости деформирования, при которой производят определение модулей упругости, определяют прочность асфальтобетона.

После установления на представительной пробе средней прочности (σ_p) образцов можно производить испытание по определению времени жизни при напряжениях, 0,2, 0,4, 0,6 от σ_p . Уровни напряженного состояния могут быть приняты разными, но желательно, чтоб начальным был уровень (0,10 – 0,20) σ_p , при котором асфальтобетон близок линейной области деформирования.

Согласно [21, 22] эта область находится в пределах (0,2 – 0,3) σ_p . В соответствии с [19] уровень напряженного состояния, после которого асфальтобетон переходит в нелинейную зону деформирования, зависит от частоты синусоидального нагружения, так же как и модуль упругости асфальтобетона. Для консольного изгиба при частоте 0,5 Гц и температуре 20 °С он близок к (0,20 – 0,32) МПа, что для асфальтобетонов на битумах с пенетрацией от 57·0,1 мм до 130·0,1 мм составляет около 10 % прочности при чистом изгибе.

Приведенные на рис. 5 зависимости времени жизни от уровня напряженного состояния для асфальтобетона типа Б практически одинаковы в пределах пенетраций (46 – 143)·0,1 мм. В то же время зависимость асфальтобетона на битуме с пенетрацией 270·0,11 мм отвечает гораздо меньшему уровню времен жизни. Это может быть следствием того, что отношение действующего напряжения к разрушающему в этом случае лежит гораздо выше границы его линейного вязкоупругого поведения.

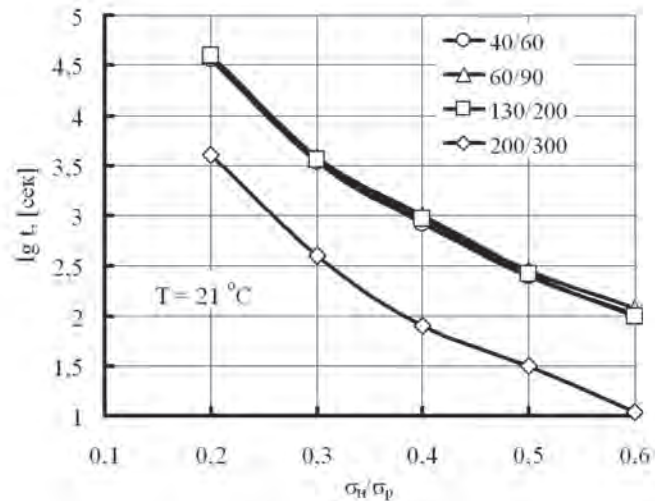
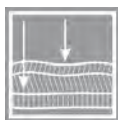


Рис. 5. Зависимость времени жизни асфальтобетонов на битумах разных марок от уровня напряженного состояния

Времена жизни, полученные при разных уровнях напряженного состояния, могут быть использованы для предсказания долговечности асфальтобетона, для выбора наиболее долговечного состава, применительно к условиям его работы, для определения эффективности различных добавок и технологий в некоторых “стерильных” условиях.

На дороге, кроме нагрузок, асфальтобетон подвергается действию многих факторов, главными среди которых являются температура, замораживание-оттаивание, действие воды и различных водных растворов или суспензий. Изучение температурных зависимостей времени жизни асфальтобетонов не представляет существенных трудностей. Это показано в работе [23], когда удалось получить не только зависимости время-напряжение, но и установить эффект снижения времени жизни асфальтобетона при фиксированном напряжении с понижением температуры, ниже температуры его механического стеклования. Установленный таким образом максимум подобен тому, что был обнаружен при испытании асфальтобетона на изгиб с определенной скоростью деформирования при разных температурах [24].

Влияние добавок ПАВ и полимера на коэффициент длительной водостойкости (K_{15}) и время его достижения (t_k)

Состав вяжущего	Значения коэффициентов водостойкости K_{15} и их рост под действием добавок / разы	Время (t_k), соответствующее достижению $K_b=0,8$, мин	Соотношение t_k асфальтобетон на чистом битуме и с добавками
Битум 130/200	0,73 / 1,00	2 517	1,00
С 0,7 ПАВ	0,76 / 1,04	3 548	1,42
С 3 % СБС	0,78 / 1,07	5 623	2,24
С 0,7 % ПАВ и 3% СБС	0,82 / 1,12	22 290	8,90
Битум 90/130	0,77 / 1,00	3 980	1,00
С 0,7 % ПАВ	0,79 / 1,03	7 070	1,80
С 3 % СБС	0,82 / 1,06	25 118	6,30
С 0,7 % ПАВ и 3 % СБС	0,85 / 1,10	141 253	35,40

Влияние фактора агрессивной жидкой среды до температуры ее замерзания на время жизни асфальтобетона также может быть установлено практически без затруднений. В работе [20] развиты исследования, выполненные в 1970 году [25]. Результаты этих исследований показывают, что совместное действие среды и механических нагрузок ускоряет процесс разрушения настолько, что коэффициенты длительной водостойкости, полученные в соответствии со стандартным способом определения после 15 суток водонасыщения, при испытаниях на статистическую усталость могут быть определены за несколько часов. Одним из механизмов такого разрушения можно считать эффект понижения прочности П.А. Ребиндера [26].

Особенностью испытаний на статическую выносливость является большой разброс результатов параллельных испытаний. Это связано со свободным распространением трещин по наиболее слабым поверхностям. Поэтому малейшая неоднородность распределения составляющих, изменение пористости, трещины в каменных материалах, дефекты адгезионных контактов – все это приводит к осязательному изменению времени жизни образцов. В [17] подчеркнута, что даже для достаточно однородных пластмасс и полимеров на каждую по напряжению точку необходимо было испытывать десятки образцов. В случае асфальтобетона хорошая однородность распределения каменных материалов, достаточно толстый слой битума и его непрерывность способствуют уменьшению разброса результатов.

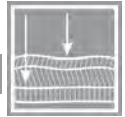
В тоже время высокая чувствительность времени жизни к различным влияющим факторам дает возможность объективно оценить эффективность любых технологических приемов регулирования качества асфальтобетона. Это может быть проиллюстрировано сравнением соотношения коэффициентов водостойкости, полученных

стандартным способом, с соотношением времен достижения коэффициентом водостойкости значения, равного 0,8, в случае асфальтобетона на чистом битуме и битуме с добавками (табл. 4).

Из данных, приведенных в табл. 4 следует, что коэффициенты длительной водостойкости изменяются ничтожно мало, потеря прочности за счет введения добавок ПАВ и СБС по сравнению с прочностью асфальтобетона на исходном битуме в случае битума БНД 90/130 уменьшается в 1,55 раза, а в случае битума БНД 130/200 – в 1,50 раза. При этом время жизни в первом случае увеличивается в 35 раз, а во втором – в 8,9 раз.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Chaussees a lonGue duree de vie et cas de reussite // Rapport du Comite Technique 4.3 sur Chaussees Routieres AIPCR.** – 2007. – 42 p.
2. **Радовский Б.С.** Концепция вечных дорожных одежд // Дорожная техника. – 2011. – С. 132 – 144.
3. **Виноградов Г.В., Золотарев В.А., Вербская Е.А., Бодан А.М.** Об особенностях вязко-упругого поведения битумов разных структурно-реологических типов в режимах непрерывного деформирования // Коллоидный журнал. – 1978. – № 4. – С. 629 – 635.
4. **Маляр В.В.** Закономерности механических свойств нефтяных битумов при стекловании: Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Харьков, 1993. – 214 с.
5. **Jolivet J., Malot M., Ramond G., Pastor M.** Contribution des mesures rheologiques sur liants a la prevision l'ornierage en laboratoire // Bull. Liaison Labo. P. et Ch. – 1994. – № 194. – P. 3 – 10.
6. **Heukelom W.** Une methode ameliee de caracterisation des bitume par leurs proprietes mecaniques // Bull. Liaison Labo. P. et Ch. – 1975. – № 76. – P. 55 – 64.
7. **Molenaar J.M.M., Hagos E.T., Van De Ven M.F.C.** An investigation into the specification of rheological properties of polymer modified bitumen // Proceedings 3rd Euraspphalt&Eurobitume Congress. 12 – 14 may 2004. – Vienna. – P. 2080 – 2091.
8. **Carswel J., Noglia O.** Etude des essais de fluage repetes comme methode predictive de la resistance a l'ornierage des enrobes // RGRA. – 2003. – № 817. – P. 55 – 59.



9. Olard F., Chabert D. Developpement de l'essai de fatigue sur liants et mastics bitumineux // RGRA. – 2008. – № 865. – P. 69 – 74.

10. Золотарев В.А., Агеева Е.Н. Об оценке адгезии битума к поверхности каменного материала // Автомобильные дороги. – 1995. – № 12. – С. 13 – 15.

11. Иванов Н.Н., Телегин М.Я. К обоснованию показателей механических свойств асфальтовых смесей // Труды ДорНИИ “Исследование органических вяжущих материалов и физико-механических свойств асфальтовых систем”. – М.: Дориздат, 1949. – С. 106 – 133.

12. Duriez M., Arrambide J. Nouveau traite des materiaux de construction. – Paris: Dunod, 1962. – V. 3. – 1543 p.

13. Щербаков И.М. Исследование и учет структурно-механических характеристик асфальтобетона при назначении конструкций дорожных одежд: Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Балашиха, 1979. – 23 с.

14. NF EN 12687–24. Melanges bitumineux – Methodes d'essai pour melange hydrocarbure a chaud. Partie 24: Resistance a la fatigue.

15. NFP 98–130. Enrobes hydrocarbure. Couches de roulement et couches de liaison: betons bitumineux semi grenu.

16. Grimaux J.-P., Hiernaux R. Utilisation de l'ornieur type LCP // Bull. Liaison Labo P. et Ch., Special V. – Bitumes et enrobes bitumineux. – 1977. – P. 165 – 180.

17. Регель В.Р., Слущер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974. – 500 с.

18. Золотарев В.А. Долговечность асфальтобетона при совместном действии нагрузок и агрессивных сред // Дорожная техника. – 2011. – С. 30 – 39.

19. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонных. – Харьков: Вища школа, 1977. – 116 с.

20. Ефремов С.В. Долговечность асфальтобетона в условиях воздействия агрессивных сред : Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук – Харьков, 2010. – 187 с.

21. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа / ВСН 46–83. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с.

22. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / Под ред. Н.Н.Иванова – М.: Транспорт, 1973. – 328 с.

23. Золотарев В.А., Титарь В.С. О долговременной прочности асфальтобетона в широком диапазоне температур // Известия ВЗУ'ов. Строительство и архитектура. – № 11. – С. 83 – 87.

24. Гордеев С.О. Деформации и повреждения дорожных асфальтобетонных покрытий. – М.: Минкоммунхоз РСФСР, 1963. – 132 с.

25. Золотарев В.А., Зубко З.Г., Космин А.В. Разрушение асфальтовых материалов под воздействием нагрузок и агрессивных сред // Реферативный сборник “Междотраслевые вопросы строительства (отечественный опыт)”. – М.: ЦИНИС, 1970. – Вып. 3. – С. 92 – 94.

Продовження статті у наступному номері

Шановні читачі!

Триває передплата на журнал "Автошляховик України"

“Автошляховик України” – науково-виробничий журнал для фахівців автомобільного транспорту та дорожнього господарства. На його сторінках друкуються матеріали про сучасні технології, наукові дослідження та розробки, висвітлюються питання організації та економіки виробництва, впровадження системи управління якістю транспортно-дорожнього комплексу, а також інформація про нові експлуатаційні й будівельні матеріали.

Передплатити журнал “Автошляховик України” можна в усіх відділеннях зв'язку через Каталог періодичних видань України ДП “Преса”, а також через каталоги передплатних агенцій:

- ПА “Меркурій”;
- ПА “Ідея-Україна”;

Передплатний індекс – 74000

“Автошляховик України” – Ваш помічник і надійне джерело інформації!

