

**ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

УДК 625.852

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ АСФАЛЬТОБЕТОНА  
ПРИ СТАТИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ****Р.А. Хамад, аспирант, ХНАДУ**

*Аннотация.* Рассмотрены результаты оценки долговечности асфальтобетона при статических напряжениях. Проанализированы погрешности измерений. Определено необходимое количество испытаний с доверительной вероятностью 0,95.

*Ключевые слова:* асфальтобетон, долговечность, статистические критерии.

**СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ЧАСУ ЖИТТЯ АСФАЛЬТОБЕТОНУ  
ПРИ СТАТИЧНІЙ УТОМЛЕНОСТІ****Р.А. Хамад, аспірант, ХНАДУ**

*Анотація.* Розглянуто результати оцінки довговічності асфальтобетону за статичних напруг. Проаналізовано похибки вимірювань. Визначено необхідну кількість випробувань з довірчою ймовірністю 0,95.

*Ключові слова:* асфальтобетон, довговічність, статистичні критерії.

**STATISTICAL EVALUATION OF THE LIFE TIME OF ASPHALT CONCRETE  
WITH STATISTICAL FATIGUE****R. Hamad, postgraduate, KhNAHU**

*Abstract.* The results of asphalt concrete durability evaluation under static load are considered. The measurements errors are analyzed. The required number of tests is determined with a probability of 0,95 per cent.

*Key words:* asphalt concrete, durability, statistical criteria.

**Введение**

К сроку службы асфальтобетона как материала покрытия большинства современных автодорог предъявляются требования, учитывающие транспортные нагрузки и их интенсивность (техническая категория автодороги), а также погоднo-климатические условия эксплуатации (дорожно-климатическая зона). Соответствие этим требованиям достигается за счет направленного регулирования качества его составляющих, структуры и свойств.

Нормы на эксплуатацию покрытия предполагают сохранение эксплуатационной надежности покрытий в течение заданного срока.

Несоответствие этим срокам оценивается по несущей способности дорожной одежды и объемам типичных разрушений.

**Анализ публикаций**

Комплексная оценка разрушения на дороге оценивается на основе визуальных оценок и технических измерений. При разработке новых дорожных конструкций, материалов и технологий в развитых странах прибегают к проверке инноваций на специальных стендах и приборах. Тем не менее, предварительное прогнозирование долговечности асфальтобетона осуществляется на стадии проектирования его состава. Оно основывается на результатах определения показателей его качеств в лабораторных условиях.

Предусмотренные нормативными документами показатели физических и механических свойств не позволяют оценить долговечность асфальтобетона в единицах времени. Наиболее близкими к такой оценке являются усталостные испытания, в результате которых определяют количество циклов, выдерживаемое материалом до разрушения при определенных условиях нагружения. Непосредственно в единицах времени оценивается жизненный цикл асфальтобетона по его ползучести от момента загрузки до раздела сплошности. Результаты таких испытаний положены в основу теории долговременной прочности твердых тел [1].

Асфальтобетон, благодаря наличию в нем битума, обладает ярко выраженными реологическими характеристиками, проявляющимися в температурной и временной зависимостях всех его механических показателей. В соответствии с этим оценка его долговечности (времени до разрушения) под заданной нагрузкой позволяет определить влияние различных структурных факторов и условий среды испытания [2, 3]. Такой показатель гораздо чувствительней к изменениям свойств материала, чем стандартные показатели прочности. В то же время высокая чувствительность времени жизни асфальтобетона под нагрузкой приводит к большому разбросу значений этого показателя. В [1] указывается, что даже при испытаниях достаточно однородных материалов (пластмасс) для минимизации ошибки измерений на одну нагрузку приходилось испытывать по несколько десятков образцов.

На кафедре ТДСМ ХНАДУ принята методика для определения долговечности асфальтобетона, в соответствии с которой определяется время от начала деформирования до момента разрушения образца под заданной постоянной нагрузкой. Испытания можно выполнять при различных схемах напряженного состояния (кручении и растяжении при изгибе) и получать зависимости времени до разрушения от действующего напряжения (долговечности) в достаточно широком интервале времени [2, 3].

#### Цель и постановка задачи

Целью работы является статистическая оценка измерений времени жизни асфальтобетона под постоянной нагрузкой и установ-

ление необходимого количества повторных испытаний для обеспечения требуемой точности измерений. В задачи исследования входит: выполнение массива экспериментов при различных уровнях напряженного состояния; статистическая обработка результатов измерений; установление аппроксимационной зависимости времени жизни асфальтобетона от действующего напряжения и определение коэффициента детерминации полученной степенной зависимости.

#### Анализ и обработка результатов испытаний

Приведенные на рис. 1 зависимости показывают, что при переходе от битума с пенетрацией  $43 \times 0,1$  мм к битумам с пенетрацией 64, 103 и  $103 \times 0,1$  мм понижение прочности на изгиб составляет 1,46, 1,67 и 2,33 раза, тогда как понижение долговечности составило 8, 28 и 745 раз. Несмотря на ощутимую разницу в чувствительности прочностных и временных показателей, последние до настоящего времени не получили широкого практического применения. Одной из причин является большая чувствительность такого рода показателей к малейшим изменениям состава, свойств и условий испытаний материала, что приводит к большим разбросам в вариационном ряду измерений.

С целью оценки воспроизводимости измерений времени жизни и определения необходимого их количества для получения достоверных результатов с заданным уровнем надежности ( $P = 0,95$ ) выполнено по 10 параллельных измерений под четырьмя различными нагрузками. Нагрузки подобраны таким образом, чтобы вызванные ими напряжения составляли 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 от разрушающего, определенного по стандартной методике испытания при постоянной скорости деформирования 3 мм/мин. Полученные результаты измерений представлены в табл. 1. Объектом анализа служили результаты определения времени жизни на изгиб (рис. 1) при температуре 22 °С песчаного асфальтобетона с 7,5 % битума с пенетрацией  $64 \times 0,1$  мм.

Результаты измерений свидетельствуют о том, что при увеличении времени жизни (за счет уменьшения действующего напряжения) размах вариации ( $X_{\max} - X_{\min}$ ) в вариационном ряду увеличивается, приближаясь



Рис. 1. Зависимости долговечности (-●-) при заданном напряжении ( $\sigma_{ст} = 50$  МПа) и прочности (-■-) на изгиб от пенетрации битума при 22 °С

Таблица 1 Результаты измерений времени жизни асфальтобетона при разных напряжениях

Номер образца	Время жизни при заданном напряжении в МПа, с							
	натуральные значения				логарифмы			
	0,61	0,92	1,22	1,53	-0,21	-0,04	0,09	0,18
1	79440	14100	4920	1640	4,90	4,15	3,69	3,21
2	158520	17640	3540	1620	5,20	4,25	3,55	3,21
3	99960	19020	3360	1680	5,00	4,28	3,53	3,23
4	104700	15120	4440	1320	5,02	4,18	3,65	3,12
5	65100	18660	4980	1140	4,81	4,27	3,70	3,06
6	86520	10980	5100	1740	4,94	4,04	3,71	3,24
7	123780	12600	4440	1620	5,09	4,10	3,65	3,21
8	99900	15960	3120	1500	5,00	4,20	3,49	3,18
9	116220	19800	3180	1440	5,07	4,30	3,50	3,16
10	166500	11460	3840	1200	5,22	4,06	3,58	3,08
$\bar{X}$	<b>110064</b>	<b>15534</b>	<b>4092</b>	<b>1490</b>	<b>5,02</b>	<b>4,18</b>	<b>3,60</b>	<b>3,17</b>
$(X_{max} - X_{min})$	<b>101400</b>	<b>8820</b>	<b>1980</b>	<b>600</b>	<b>0,41</b>	<b>0,26</b>	<b>0,21</b>	<b>0,18</b>

к среднеарифметическому значению ( $\bar{X}$ ). Для приведенных значений  $\bar{X}$ : 1490, 4092, 15534 и 110064 с отношение  $(X_{max} - X_{min})/\bar{X}$  составило: 40, 48, 57 и 92 % соответственно. Увеличение данного отношения свидетельствует об увеличении чувствительности времени жизни к неоднородностям и дефектам структуры асфальтобетона с уменьшением действующего напряжения.

Полученные значения размаха вариации  $(X_{max} - X_{min})$  изменяются также, как и значения времени жизни от действующего напряжения ( $\sigma$ ), по степенной зависимости (рис. 2).

Изменение величины размаха вариации и степенной характер его взаимосвязи с напряжением оправдывают использование логарифмических значений времени жизни при статистическом анализе, с целью получения сопоставимых результатов при различных напряжениях. После приведения времен жизни в логарифмические значения размах вариации значительно уменьшается, и его отношение к среднеарифметическому значению логарифма времени жизни составляет: 6, 6, 6 и 8 % против 40, 48, 57 и 92 % для исходных значений.

Определение необходимого количества измерений для получения достоверных значений времени жизни для каждого из принятых

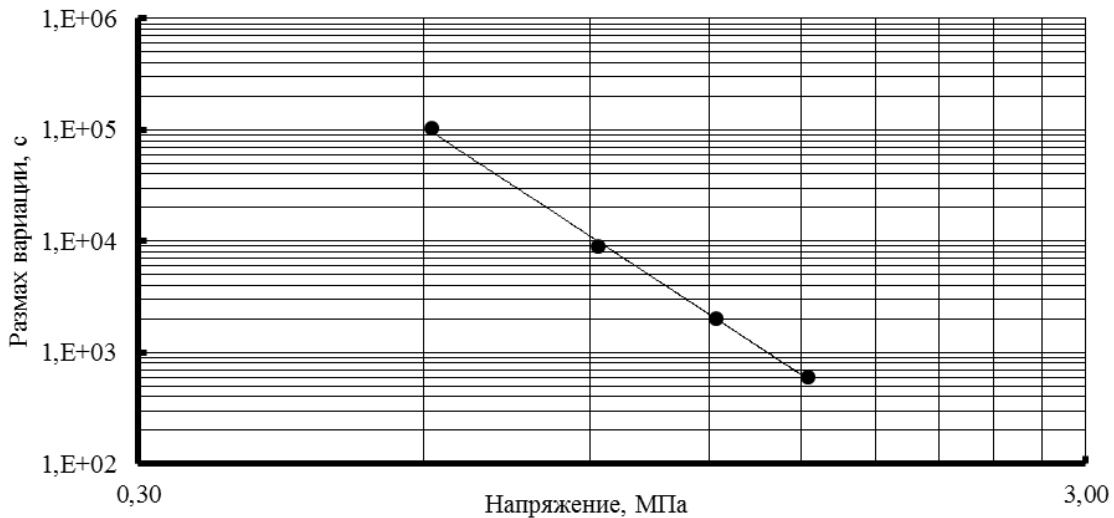


Рис. 2. Зависимость значения размаха вариации в выборках от действующего напряжения

уровней напряженного состояния с ошибкой, не превышающей 2 %, и заданной надежностью измерений ( $P = 0,95$ ) выполнено в соответствии с ниже описанной методикой, основанной на использовании интеграла Лапласа ( $t$ ).

Расчет производили в такой последовательности.

Определяли среднеарифметическое значение в вариационном ряду

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где  $n$  – количество измерений.

Рассчитывали среднеквадратическое отклонение от среднеарифметического значения

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}.$$

Доверительный интервал измерения среднеарифметического значения принимали равным

$$\Delta X = \pm (\bar{X} \cdot 0,02),$$

где  $\bar{X}$  – среднеарифметическое значение ряда измерений; 0,02 – заданная ошибка средней среднеарифметической (2 %).

Для заданной надежности измерений ( $P = 0,95$ ) и количества измерений, равного 10 по табл. [4, табл. 1.3], определяли значение интеграла Лапласа ( $t$ )

$$t = 1,95.$$

Рассчитывали среднеквадратическое отклонение для среднеарифметического значения

$$S_0 = \frac{\Delta X}{t}.$$

Необходимое количество измерений определяли по формуле

$$n = \left( \frac{S}{S_0} \right)^2.$$

Приведенные в табл. 2 результаты статистического расчета свидетельствуют о том, что показатель  $S$ , характеризующий рассеяние значений вокруг среднеарифметического значения, увеличивается с уменьшением напряжения, что количественно характеризует степень понижения воспроизводимости результатов измерений с увеличением времени жизни под нагрузкой. Это, в свою очередь, приводит к необходимости увеличения количества измерений для получения заданного уровня достоверности значений времени жизни.

Таблица 2 Статистическая обработка результатов измерений (табл. 1)

Значения показателей статистической обработки		Действующее напряжение, МПа			
		0,61	0,92	1,22	1,53
Количество измерений		10			
Среднеарифметическое значение	$\bar{X}$	5,02	4,18	3,60	3,17
Среднеквадратическое отклонение от среднеарифметического значения	$S$	0,127	0,093	0,083	0,064
Доверительный интервал при заданной ошибке 2 %	$\Delta X$	0,100	0,084	0,072	0,063
Интеграл Лапласа	$t$	1,95			
Среднеквадратическое отклонение среднеарифметического значения	$S_0$	0,052	0,043	0,037	0,033
Необходимое количество измерений	$n$	6	5	5	4

Полученные результаты статистической обработки справедливы по отношению к конкретному объекту исследования и для заданных интервалов времени жизни. Изменения в составе и структуре материала могут привести к изменению его однородности и дефектности, что должно сопровождаться изменением характера зависимости времени жизни и распределения результатов измерений. Степенной характер зависимости долговременной прочности от действующего напряжения в широком интервале времени

позволяет ориентироваться на такой «интегральный» показатель, как коэффициент детерминации ( $R^2$ ), характеризующий величину достоверности аппроксимации данных. При построении зависимости долговременной прочности по нескольким точкам (желательно более трех) количество измерений на каждую точку может быть уменьшено в соответствии со значением коэффициента детерминации. Чем он ближе к единице, тем точнее полученная зависимость (рис. 3).

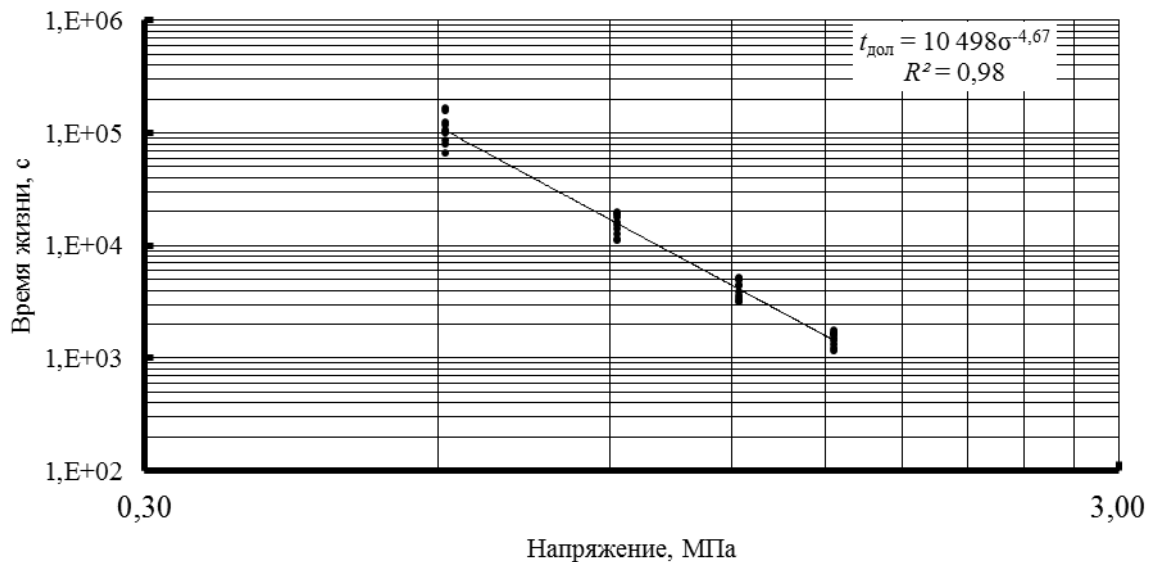


Рис. 3. Зависимость, построенная по данным табл. 1

### Выводы

Обработка экспериментальных данных позволила сделать следующие выводы.

1. Показатель времени жизни асфальтобетона под нагрузкой гораздо чувствительней к изменениям свойств, структуры и условий

испытания, чем стандартные показатели прочности. В то же время воспроизводимость результатов измерений – ниже.

2. Размах вариации  $X_{\max} - X_{\min}$  в вариационном ряду измерений изменяется также, как и значения времени жизни от действующего напряжения по степенной зависимости.

3. Воспроизводимость результатов измерений долговременной прочности понижается с увеличением времени жизни (при уменьшении действующего напряжения).

4. В качестве главного критерия надежности устанавливаемых экспериментальных зависимостей долговременной прочности (по трем точкам и более) целесообразно использовать коэффициент детерминации, характеризующий величину достоверности аппроксимации данных.

### Литература

1. Регель В.Р. Кинетическая природа прочности твёрдых тел / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. – М.: Наука, 1974. – 560 с.
2. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В.А. Золотарев. – Х.: Вища школа, 1977. – 116 с.

3. Ефремов С.В. Долговечность асфальтобетона в условиях действия агрессивных сред: дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / С.В. Ефремов. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 217 с.

4. Испытания дорожно-строительных материалов: лабораторный практикум / В.А. Золотарев, В.И. Братчун, А.В. Космин и др.; под ред. В.А. Золотарева, А.В. Космина. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 368 с.

Рецензент: В.А. Золотарёв, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 2 декабря 2013