

СРОК СЛУЖБЫ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ШУНГИТОВЫМ МИНЕРАЛЬНЫМ ПОРОШКОМ

Канд. техн. наук, профессор **Н.С. Ковалев**
(Воронежский государственный аграрный
университет имени императора Петра I),
ст. преподаватель **Е.Н. Отарова**

(«ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»)
Конт. информация: NSKovalev@mail.ru;
ekaterina.otarova@mail.ru

Асфальтобетон с шунгитовым минеральным порошком является сравнительно новым материалом и его свойства мало изучены. Авторами проведены исследования циклической усталости такого асфальтобетона в лабораторных условиях с постоянной амплитудой деформаций. На основании полученных результатов спрогнозированы сравнительные сроки службы асфальтобетонных покрытий. Установлено, что прогнозный срок службы асфальтобетона с шунгитовым минеральным порошком на 2-3 года выше, чем у асфальтобетона на известняковом минеральном порошке.

Ключевые слова: *усталость асфальтобетона, асфальтобетон с шунгитовым минеральным порошком, прогнозирование сравнительных сроков службы асфальтобетонных покрытий.*

Улучшение качества дорожно-строительных материалов, и, прежде всего асфальтобетона, является неременным условием повышения эффективности дорожного строительства. Одной из важных проблем в обеспечении эксплуатационной надежности нежестких дорожных одежд является определение и прогнозирование усталостных свойств асфальтобетона и асфальтобетонных покрытий. Трудность решения этой проблемы обусловлена не только сложностью деформирования и разрушения битумных материалов, но и влиянием внешних факторов (температура, режим нагружения и т.д.). Материаловедческий аспект затрагиваемой проблемы является актуальным для всех конструкционных материалов, так как до настоящего времени отсутствует единая теория их разрушения [1,2].

В последнее время значительно возрос интерес к изучению явления усталости, проявляющейся в изменении во времени показателей прочности и деформативности асфальтобетона [3,4].

Исследователи полагают, что разрушение асфальтобетона и образование трещин носит усталостный характер и что наиболее достоверным критерием трещиностойкости асфальтобетона являются результаты испытаний на усталость [2]. По их мнению, усталостные испытания позволяют прогнозировать эксплуатационную надежность асфальтобетона.

Особенность усталости заключается в том, что к постепенному снижению прочности и разрушению покрытия дороги приводит воздействие нагрузок, по величине существенно меньше разрушающих.

Явление усталости понимается как процесс постепенного разрушения материала трещинами. При этом различают *три фазы разрушения*:

1. начало образования трещин;
2. период стабильного роста трещины;
3. стадию интенсивного роста трещины.

Применительно к асфальтобетонным покрытиям анализ механизма образования и роста усталостных трещин выполнен в [4]. Показано, что основную часть срока службы покрытия составляет рост усталостных трещин, а не их зарождение [5,6]. По сравнению с началом образования трещин, которое занимает незначительное время, фазу устойчивого роста трещин можно рассматривать в качестве основного процесса усталости. Циклическое воздействие нагрузки ведет к постепенному росту трещин до критической глубины. Трещина увеличивается на третьей стадии самопроизвольно, что и ведет к разрушению материала.

Условия, при которых только и возможен рост трещин под действием внешних сил у упругих тел, были сформулированы Гриффитсом [1]:

1. рост трещины должен быть энергетически выгодным процессом, т.е. распространение трещины должно сопровождаться уменьшением внутренней энергии деформированного тела. Когда под действием местных напряжений образуется трещина, она слегка раскрывается, при этом часть энергии упругой деформации освобождается. Одновременно при раскрытии и дальнейшем росте трещины образуются две новые поверхности с поверхностной энергией, равной $2Gl$ на 1 см^2 , т.е. рост трещины сопровождается также и приобретением энергии, которая пропорциональна первой степени длины трещины.
2. должен работать молекулярный механизм, благодаря которому может осуществляться преобразование энергии упругой деформации в поверхностную энергию.

Анализ усталостных характеристик на основе термофлуктуационной теории разрушения С.Н. Журкова показал [2], что усталостные свойства асфальтобетона непосредственно зависят от степени его пластичности и что имеется определенная связь между прочностными и усталостными свойствами материала.

Различают два способа испытаний на усталость [7]:

- с постоянной амплитудой напряжений;
- с постоянной амплитудой деформаций.

Испытания на усталость с постоянной амплитудой деформаций, по мнению авторов, являются более корректными по сравнению с испытаниями с постоянной амплитудой напряжений, так как практически невозможно установить постоянное напряжение при росте трещин и, соответственно, уменьшении площади сечения материала. Количество приложений нагрузки до момента разрушения асфальтобетона (N) и амплитуду относительной деформации (ε) связывают обычно выражением:

$$N = C (1/\varepsilon)^m,$$

где

C и m – постоянные величины, зависящие от состава и свойств асфальтобетона.

Эта зависимость к сопротивлению асфальтобетона повторным нагрузкам получила экспериментальное подтверждение для смесей различного состава [3]. Установлено также, что количество циклов повторного нагружения до разрушения образца возрастает с увеличением продолжительности пауз между приложениями нагрузок. При испытании образцов в лабораторных условиях пауза обычно не превышает длительности импульса нагружения. Фактически периоды отдыха асфальтобетона в покрытии между повторными воздействиями нагрузок от движущего транспорта значительно больше длительности нагружения. Это приводит к увеличению усталостной долговечности примерно в 5 раз. По другим данным при увеличении продолжительности перерыва между нагружениями увеличивается количество циклов до разрушения в 5-10 раз [3].

Усталостное разрушение асфальтобетона в покрытии происходит в результате образования трещин вблизи подошвы слоя и постепенного распространения трещин к поверхности покрытия. Количество повторных нагрузок, необходимых для распространения трещин по толщине слоя, превышает количество циклов до появления первой усталостной трещины вблизи подошвы слоя приблизительно в 20 раз. Следовательно, долговечность асфальтобетона в покрытии превосходит количество

циклов «нагрузка - разгрузка» без пауз, которое образец асфальтобетона выдерживает в лаборатории до разрушения в 100 или 200 раз.

Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность асфальтобетонов можно разделить на две группы [8]:

1. *внешние* – воздействия окружающей среды трех видов: механические, физико-климатические и химические;
2. *внутренние* – показатели качества, определяющие способность асфальтобетона сопротивляться указанным видам внешних воздействий.

Асфальтобетон с шунгитовым минеральным порошком является сравнительно новым материалом, его свойства мало изучены [9,10]. Авторами для исследования циклической усталости такого асфальтобетона в лабораторных условиях учитывались следующие факторы:

- *механический* – количество циклов нагружений до разрушения асфальтобетона;
- *физико-климатический* – водонасыщение асфальтобетона;
- *химический* – старение после прогрева в течение 5 ч при температуре 150 °С;
- *внутренний* – рецептурный состав асфальтобетона.

Испытания на сравнительную циклическую усталость при динамическом нагружении осуществлялись на специально сконструированном стенде в лаборатории ФАУ «РОСДОРНИИ» (испытания проводили А.В. Руденский и А.А. Штромберг), обеспечивающим приложение нагрузки с частотой 868 мин⁻¹ в режиме циклического изгиба образцов-балочек размером 2,5x4x16 см при фиксированной амплитуде деформации. Температура испытания была принята равной 20 °С. Величину циклической усталости фиксировали по моменту разрушения образца. Амплитуда деформации при испытании составляла 0,0021 (прогиб балочки – 0,35 мм).

Одним из свойств асфальтобетона, предопределяющих его долговечность (время до разрушения), является устойчивость структуры данного материала в условиях изменяющегося влажностного и температурного режима. При водонасыщении адсорбционные слои воды, понижая поверхностную энергию, облегчают образование новых поверхностей в асфальтобетоне при его деформировании (*эффект Ребиндера*). Расклинивающее действие водных пленок, разъединяющих минеральные зерна и отслаивающих битумные слои, усиливает разрушающий эффект [11].

Исследованиями А.В. Руденского [2] доказано, что механизм ускоренного усталостного разрушения водонасыщенного асфальтобетона при работе покрытия в режиме циклических динамических нагруже-

ний обусловлен в определенной степени возникновением импульсных гидродинамических давлений в насыщенных водой порах. Оценка водонепроницаемости асфальтобетона методом динамических воздействий на водонасыщенные образцы больше соответствует реальным эксплуатационным условиям работы материала в дорожной конструкции, чем известными методами, основанными на статическом действии воды [2]. Поэтому с целью проверки сравнительной усталостной долговечности асфальтобетона испытания проводили на сухих и водонасыщенных образцах. Водонасыщение образцов асфальтобетона составляло 1,7% по объему. Результаты испытаний приведены в **табл. 1**.

Таблица 1

Результаты испытаний асфальтобетона на усталостную долговечность

№ п/п	Состав образцов асфальтобетона	Старение (температурное воздействие)	Количество циклов до разрушения образцов	
			сухих	водонасыщенных
1	гранитный отсев – 92%; известняковый минеральный порошок – 8%; битум марки БНД 60/90 – 7,5%	без прогрева	14756	10416
		после 5 ч прогрева	17707	11488
2	гранитный отсев – 92%; шунгитовый минеральный порошок – 8%; битум марки БНД 60/90 – 7%	без прогрева	17757	14322
		после 5 ч прогрева	20092	16297

Анализ результатов, представленных в **табл. 1**, позволяет установить следующее:

1. при использовании известнякового минерального порошка без прогрева усталостная долговечность водонасыщенных образцов асфальтобетона снижается на 4340 циклов, а после прогрева – уже на 6219 циклов;
2. при использовании шунгитового минерального порошка без прогрева усталостная долговечность водонасыщенных образцов асфальтобетона снижается на 3435 циклов, а после прогрева – на 3795 циклов;
3. при использовании шунгитового минерального порошка взамен известнякового усталостная долговечность асфальтобетона воз-

растает без прогрева в сухом состоянии – на 3001 цикл, а в водонасыщенном состоянии – на 3906 циклов;

4. при использовании шунгитового минерального порошка взамен известнякового усталостная долговечность асфальтобетона возрастает после прогрева в сухом состоянии – на 2385 циклов, а в водонасыщенном состоянии – на 4809 циклов.

Использование шунгитового минерального порошка взамен известнякового способствует повышению циклической усталости асфальтобетона, особенно в условиях водонасыщения, что связано, по всей видимости, с высокой его адгезионной способностью [12].

Повышение усталостной долговечности асфальтобетона с использованием шунгитового минерального порошка в результате старения (после прогрева в течение 5 ч) указывает на стабильность свойств при температурных воздействиях. Это связано, по нашему мнению, с миграцией масел из пор, находящихся в шунгитовом минеральном порошке, и омолаживанием битумной пленки при ее старении [13].

В качестве основного критерия, характеризующего прочность дорожной одежды, принят упругий прогиб по оси действия нагрузки или вычисляемый по его величине модуль упругости.

Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции дорожной одежды за весь срок службы определяют по выражению [14, формула 3.7]:

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{(T_c - 1)} T_{p\partial z} k_n .$$

Фактический срок службы дорожной одежды можно определить по формуле:

$$T_\phi = \frac{N_{\text{ЛАБ}} K}{N_{\text{РАС}}} ,$$

где

K – коэффициент перехода от лабораторных испытаний асфальтобетона на циклическую усталость к усталостному разрушению асфальтобетона в покрытии, равный 100 [4];

$N_{\text{РАС}}$ – суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции дорожной одежды за 1 год службы, определяемое по формуле:

$$N_{\text{РАС}} = \sum N_p / T_{\text{сл}} .$$

Пример расчета сравнительной продолжительности службы асфальтобетонных покрытий для условий Воронежской области

Дорога располагается в третьей дорожно-климатической зоне.

Категория автомобильной дороги – 3.

Приведенная к нагрузке типа А интенсивность движения на конец срока службы $N_p = 900$ авт./сут.; приращение интенсивности = 1,04.

Суммарное расчетное число приложений нагрузки к точке на поверхности конструкции за весь срок службы равно [14, табл. П.6.1; табл. П.6.2; табл. 3.3; табл. П.6.3]:

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{g^{(T_c-1)}} T_{\text{роз}} k_n = 0,7 \cdot 900 \frac{1,32}{1,04^{(14-1)}} 145 \cdot 20 = 145279.$$

Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции дорожной одежды за 1 год службы равно:

$$N_{\text{РАС}} = \sum N_p / T_{\text{сл}} = 1452796/14 = 103771.$$

Фактический срок службы дорожной одежды определяем по формуле:

$$T_{\Phi} = \frac{N_{\text{ЛАБ}} K}{N_{\text{РАС}}}.$$

Например: при $N_{\text{ЛАБ}} = 14756$ (табл. 1):

$$T_{\Phi} = \frac{N_{\text{ЛАБ}} K}{N_{\text{РАС}}} = \frac{14756 \cdot 100}{103771} = 14,3 \text{ года.}$$

Аналогично рассчитаны сроки службы по данным **табл. 1** (**табл. 2**).

Прогнозная сравнительная продолжительность срока службы асфальтобетонных покрытий по данным лабораторных испытаний

Состав образцов асфальтобетона	Старение (температурное воздействие)	Прогнозная продолжительность срока службы, лет	
		в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии
гранитный отсев – 92%; известняковый минеральный порошок – 8%; битум марки БНД 60/90 – 7,5%	без прогрева	14,3	10,3
	после 5 ч прогрева	17,1	11,1
гранитный отсев – 92%; шунгитовый минеральный порошок – 8%; битум марки БНД 60/90 – 7%	без прогрева	17,1	13,8
	после 5 ч прогрева	19,4	15,7

Как видно из данных **табл. 2**, прогнозная сравнительная продолжительность срока службы асфальтобетонных покрытий с шунгитовым минеральным порошком существенно выше эталонного покрытия.

К тому же следует отметить, что лабораторными испытаниями на усталость не учитывается возможность «самозалечивания» дефектов структуры асфальтобетона в период жаркого лета, что может также способствовать увеличению продолжительности срока службы покрытий [15].

ВЫВОДЫ

1. Исследована усталостная долговечность асфальтобетона в лабораторных условиях. Асфальтобетон с применением шунгитового минерального порошка обладает повышенной усталостной долговечностью по сравнению с асфальтобетоном на известняковом порошке.
2. Установлена прогнозная продолжительность срока службы асфальтобетонных покрытий. Прогнозная продолжительность срока службы асфальтобетонных покрытий с шунгитовым минеральным порошком выше эталонных на 2-3 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Griffith A.A. *The phenomena of rupture and flow in solids* / A.A. Griffith // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*. – 1921. – Vol. 221. – P. 163-198.
2. Руденский А.В. Закономерности усталостного разрушения дорожных одежд / А.В. Руденский, Б.С. Радовский, С.В. Коновалов // *Труды ГипродорНИИ*. – 1975. – Вып. 10. – С. 3-8.
3. Соколов Б.Ф. Моделирование эксплуатационно-климатических воздействий на асфальтобетон / Б.Ф. Соколов, С.М. Маслов. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1987. – 104 с.
4. Бахрах Г.С. Подход к определению срока службы асфальтобетонных покрытий / Г.С. Бахрах // *ДОРОГИ И МОСТЫ*. – 2014. – Вып. 32/2. – С. 250-263.
5. Бахрах Г.С. Подход к проблеме выносливости асфальтобетонных покрытий с позиций механики разрушения / Г.С. Бахрах // *Повышение технико-эксплуатационных качеств автомобильных дорог: сб. науч. тр.* / М.: Гипродорнии, 1982. – Вып. 35. – С. 12-26.
6. Бахрах Г.С. Усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий и пути замедления этого процесса / Г.С. Бахрах // *ЭИ/ЦБНТИ Минавтодора РСФСР*. – Серия: строительство и эксплуатация автомобильных дорог. – М., 1980. – Вып. 9. – 42 с.
7. *Дорожный асфальтобетон* / под ред. Л.Б. Гезенцева. – М., Транспорт, 1976. – 336 с.
8. Руденский А.В. Анализ работы асфальтобетонных покрытий как конструкций с нестационарными эксплуатационными характеристиками / А.В. Руденский // *Труды Гипродорнии*. – 1979. – Вып. 27. – С. 66-78.
9. Влияние углеродсодержащего минерального порошка на эксплуатационные свойства песчаного асфальтобетона / Вл.П. Подольский [и др.] // *Повышение долговечности транспортных сооружений и безопасности дорожного движения: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф.* – Казань: КГАСУ, 2008. – С. 26-31.
10. Ковалев Н.С. Исследование усталостной долговечности асфальтобетона с углеродсодержащим материалом при циклическом динамическом нагружении / Н.С. Ковалев, Я.А. Быкова // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. – 2008. – Вып. 12 (31) – С. 62-67.

11. Ребиндер П.А. Научные основы технологии производства строительных материалов / П.А. Ребиндер, Н.В. Михайлов // Вестник АН СССР. – 1961. – № 10. – С. 70-77.
12. Ковалев Н.С. Научно-практические основы морозостойкости и трещиностойкости асфальтобетонных покрытий из шлаковых материалов: монография / Н.С. Ковалев. – Воронеж: ВГАУ, 2012. – 271 с.
13. Ковалев Н.С. Конструктивные слои дорожных одежд из шлаковых материалов, обработанных органическими вяжущими: монография / Н.С. Ковалев. – Воронеж: ВГАУ, 2014. – 286 с.
14. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Росавтодор Минтранса РФ. – М.: Информавтодор, 2001. – 145 с.
15. Ковалев Н.С. Дорожный шлаковый асфальтобетон: монография / Н.С. Ковалев. – LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2015. – 230 с.

L I T E R A T U R A

1. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids / A.A. Griffith // Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A. – 1921. – Vol. 221. – P. 163-198.
2. Rudenskij A.V. Zakonomernosti ustalostnogo razrushenija dorozhnyh odezhd / A.V. Rudenskij, B.S. Radovskij, S.V. Konovalov // Tr. GiprodorNII. – 1975. – Vyp. 10. – S. 3-8.
3. Sokolov B.F. Modelirovanie jekspluatacionno-klimaticheskikh vozdeystvij na asfal'tobeton / B.F. Sokolov, S.M. Maslov. – Voronezh : Izd-vo VGU, 1987. – 104 s.
4. Bahrah G.S. Podhod k opredeleniju sroka sluzhby asfal'tobetonnyh pokrytij / G.S. Bahrah // DOROGI I MOSTY. – 2014. – Vyp. 32/2. – S. 250-263.
5. Bahrah G.S. Podhod k probleme vynoslivosti asfal'tobetonnyh pokrytij s pozicij mehaniki razrushenija / G.S. Bahrah // Povyshenie tehniko-jekspluatacionnyh kachestv avtomobil'nyh dorog: sb. nauch. tr. / M.:Giprodornii, 1982. – Vyp. 35. – S. 12-26.

6. Bahrah G.S. *Ustalostnoe razrushenie asfal'tobetonyh pokrytij i puti zamedlenija jetogo processa* / G.S. Bahrah // *JeI/CBNTI Minavtodora RSFSR. – Serija: stroitel'stvo i jekspluatacija avtomobil'nyh dorog.* – M., 1980. – Vyp. 9. – 42 s.
7. *Dorozhnyj asfal'tobeton* / pod red. L.B. Gezencveja. – M., Transport, 1976. – 336 s.
8. Rudenskij A.V. *Analiz raboty asfal'tobetonyh pokrytij kak konstrukcij s nestacionarnymi jekspluatacionnymi harakteristikami* / A.V. Rudenskij // *Trudy Giprodornii.* – 1979. – Vyp. 27. – S. 66-78.
9. *Vlijanie uglerodsoderzhashhego mineral'nogo poroshka na jekspluatacionnye svojstva peschanogo asfal'tobetona* / V.I.P. Podol'skij [i dr.] // *Povyshenie dolgovechnosti transportnyh sooruzhenij i bezopasnosti dorozhnogo dvizhenija: sb. nauch. tr. Vseros. nauch.-prakt. konf.* – Kazan': KGASU, 2008. – S. 26-31.
10. Kovalev N.S. *Issledovanie ustalostnoj dolgovechnosti asfal'tobetona s uglerodsoderzhashhim materialom pri ciklicheskom dinamicheskom nagruzenii* / N.S. Kovalev, Ja.A. Bykova // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura.* – 2008. – Vyp. 12 (31) – S. 62-67.
11. Rebinder P.A. *Nauchnye osnovy tehnologii proizvodstva stroitel'nyh materialov* / P.A. Rebinder, N.V. Mihajlov // *Vestnik AN SSSR.* – 1961. – # 10. – S. 70-77.
12. Kovalev N.S. *Nauchno-prakticheskie osnovy morozostojkosti i treshhinostojkosti asfal'tobetonyh pokrytij iz shlakovyh materialov: monografija* / N.S. Kovalev. – Voronezh: VGPU, 2012. – 271 s.
13. Kovalev N.S. *Konstruktivnye sloi dorozhnyh odezhd iz shlakovyh materialov, obrabotannyh organichesкими vjazhushhimi: monografija* / N.S. Kovalev. – Voronezh: VGPU, 2014. – 286 s.
14. ODN 218.046-01. *Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd* / Rosavtodor Mintransa RF. – M.: Informavtodor, 2001. – 145 s.
15. Kovalev N.S. *Dorozhnyj shlakovyj asfal'tobeton: monografija* / N.S. Kovalev. – LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2015. – 230 s.

***SERVICE LIFE OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS
CONTAINING SHUNGITE MINERAL POWDER***

*Ph. D. (Tech.), Professor N.S. Kovalev
(Voronezh State Agricultural University
named after Emperor Peter the Great),
Assistant Professor E.N. Otarova
(«AIR FORCES MILITARY EDUCATIONAL
AND SCIENTIFIC CENTER»
«Zhukovsky – Gagarin Air Force Academy»)
Contact information: NSKovalev@mail.ru;
ekaterina.otarova@mail.ru*

Asphalt concrete containing shungite mineral powder is a relatively new material and its properties are poorly known. The researches on cyclic fatigue of this asphalt concrete under constant amplitude of deformations in laboratory conditions are carried out by the authors. Based on the received results the comparative service life of asphalt concrete pavements is estimated. It is found that predicted service life of asphalt concrete on shungite mineral powder is 2-3 years higher, than asphalt concrete on lime mineral powder.

Key words: *asphalt concrete fatigue, asphalt concrete containing shungite mineral powder, forecasting of comparative service life of asphalt concrete pavements.*

Рецензент: канд. техн. наук Л.А. Горелышева (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 30.01.2017 г.