



УТОМЛЕНІСНА ДОВГОВІЧНІСТЬ МОДИФІКОВАНИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Є. А. Ромасюк, В. І. Братчун, М. К. Пактер, О. А. Стукалов

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: bratv09@yandex.ru

Отримана 11 лютого 2015; прийнята 27 березня 2015.

Анотація. Встановлено, що при різних температурах випробування утомленісна довговічність асфальтобетонів з комплексно-модифікованою структурою значно вища в порівнянні зі звичайними асфальтобетонами. Підвищення утомленісної довговічності в 1,5–2,0 рази спостерігається в асфальтобетоні системи «бітум, модифікований 2,0 % мас. етиленгліцидилакрилатом марки Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105 – мінеральні матеріали, активовані 0,7 % мас. Elvaloy-AM» і в 1,1–1,5 разу у комплексно-модифікованого литого асфальтобетону «бітум, модифікований 2,0 % мас. бутадієнметилстирольним каучуком СКМС-30 + 30 % технічної сірки – мінеральний порошок, активований 0,5 % мас. СКМС-30». За формулою А. В. Руденського розраховано коефіцієнти утомленісної довговічності для кожного типу асфальтобетону. Асфальтобетони з комплексно-модифікованою структурою мають в 1,1–1,4 разу менші значення коефіцієнта m , що свідчить про їх більш високу утомленісну довговічність. Розглянуто зміну кількості циклів до руйнування залежно від періоду «відпочинку» (розвантаження) зразка при випробуванні короткочасними циклічними навантаженнями. Вивчено зв'язок між напруженням в дрібнозернистому асфальтобетоні типу «Б» і асфальтобетоні з комплексно-модифікованою структурою Elvaloy-AM і деформацією при частоті деформування 0,5 Гц та температурі 20 °С.

Ключові слова: нафтовий дорожній бітум, асфальтобетонна суміш, дорожній асфальтобетон, утомленісна довговічність асфальтобетону.

УСТАЛОСТНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Е. А. Ромасюк, В. И. Братчун, М. К. Пактер, А. А. Стукалов

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: bratv09@yandex.ru

Получена 11 февраля 2015; принята 27 марта 2015.

Аннотация. Установлено, что при различных температурах испытания усталостная долговечность асфальтобетонных с комплексно-модифицированной структурой значительно выше по сравнению с обычными асфальтобетонами. Увеличение усталостной долговечности в 1,5–2,0 раза наблюдается у асфальтобетона системы «битум, модифицированный 2,0 % мас. этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105 – минеральные материалы, активированные 0,7 % мас. Elvaloy-AM» и в 1,1–1,5 раза у комплексно-модифицированного литого асфальтобетона «битум, модифицированный 2,0 % мас. бутадієнметилстирольним каучуком СКМС-30 + 30 % технической серы – минеральный порошок, активированный 0,5 % мас. СКМС-30». По формуле А. В. Руденского рассчитаны коэффициенты усталостной долговечности для каждого типа асфальтобетона. Асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой имеют в 1,1–1,4 раза меньшие значения коэффициента m , что свидетельствует о их более высокой усталостной долговечности. Рассмотрено изменение количества циклов

до разрушения в зависимости от периода «отдыха» (разгрузки) образца при испытании кратковременными циклическими нагрузками. Изучена связь между напряжением в мелкозернистом асфальтобетоне типа «Б» и асфальтобетона с комплексно-модифицированной структурой Elvaloy-AM и деформацией при частоте деформирования 0,5 Гц и температуре 20 °С.

Ключевые слова: нефтяной дорожный битум, асфальтобетонная смесь, дорожный асфальтобетон, усталостная долговечность асфальтобетона.

THE FATIGUE LIFE OF THE MODIFIED ASPHALT CONCRETE UNDER DYNAMIC LOADING

Evgeny Romasyuk, Mixail Pakter, Valery Bratchun, Aleksandr Stukalov

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: bratv09@yandex.ru

Received 11 February 2015; accepted 27 March 2015.

Abstract. It has been found out that when different test temperatures fatigue life of asphalt with a complex-modified structure is much higher as compared with conventional asphalt concrete. Increasing the fatigue life in 1.5–2.0 times has been observed in asphalt concrete system «bitumen modified with 2.0 % by weight glycidyl acrylate ethylene-brand Elvaloy-AM + 0.2 % PFC-105 – mineral material, 0.7 % by weight activated Elvaloy AM» and 1.1–1.5 times in the complex – modified asphalt concrete cast «bitumen modified with 2.0 % by weight methyl styrene butadiene rubber SKMS-30 + 30 % technical sulfur – mineral powder, 0.5 % by weight activated SKMS-30». According to the formula of A. V. Rudenskii, coefficients of fatigue life for each type of asphalt concrete were calculated. Asphalt concrete with a complex – modified structure are 1.1–1.4 times smaller values of m , which testifies to their higher fatigue life. The change in the number of cycles to failure, depending on the period of «rest» (discharge) of the sample during the test transient cyclic loads has been considered. The relationship between stress in the fine-grained asphalt concrete type «B» and asphaltic concrete with a complex-modified structure Elvaloy-AM strain deformation at a frequency of 0.5 Hz and a temperature of 20 °C has been carried out.

Keywords: oil road bitumen, asphalt mix, asphalt road, the fatigue life of asphalt concrete.

Актуальность работы

В процессе эксплуатации автомобильной дороги все конструктивные слои дорожной конструкции испытывают комплекс транспортных нагрузок, действие температуры, водонасыщения-высушивания, замораживания-оттаивания и других внешних факторов, в результате чего формируются напряжения различной величины и знака. Наиболее существенным является комплекс воздействий, состоящий из погодно-климатических факторов и динамического нагружения от автотранспорта. Особенностью нагрузки от транспортных средств является то, что напряжения, возникающие в материалах дорожного покрытия, могут и не превышать критических значений, однако при многократном приложении динамических механических нагрузок

в асфальтобетоне развиваются усталостные процессы. Это приводит к постепенному накоплению дефектов структуры материала и образованию усталостных трещин с последующим разрушением дорожного покрытия [1–5].

Методы решения

Основываясь на теориях разрушения композиционных материалов и работ в области изучения напряженно-деформируемого состояния асфальтобетона [4–6], предполагается, что под действием динамических нагрузок различной величины в наиболее слабых местах структуры материала, а именно в порах и пустотах, на границе раздела фаз «пленочный битум – минеральный материал» возникают напряжения различ-

ных знаков, постепенное увеличение которых в дальнейшем приводит к постепенному разрыву связей на молекулярном уровне с последующим образованием так называемых волосных трещин или пластических сдвигов микроскопических частиц. Дальнейшее развитие микроскопических трещин и их слияние будет захватывать макрообъемы материала, при этом распространение трещин будет проходить по наиболее энергетически выгодным путям, т. е. по прослойкам свободного битума, по границе адсорбционно-сольватных слоев органического вяжущего, либо же по контактной зоне минерального материала и вяжущего (при условии недостаточной прочности адгезионных связей) [5–9].

В настоящее время наиболее эффективным способом повышения основных физических и деформационно-прочностных свойств асфальтобетонов является одновременная модификация органических вяжущих такими добавками, как: термоэластопласт типа SBS марки Kraton D 1101, этиленглицидилакрилат марки Elvaloy-AM, комбинированная добавка на основе бутадиен-метилстирольного каучука и технической серы, а также поверхностной модификацией минеральных материалов полимерами и олигомерами из раствора [7, 9–13].

Поверхностная активация минеральных материалов полимерными добавками обеспечивает тонкое регулирование молекулярных свойств поверхности щебня, песка и минерального порошка. Это приводит к максимальному сродству ее с битумополимерным вяжущим (БПВ), что обеспечивает полное смачивание ее модифицированным органическим вяжущим. Происходит максимальное сближение молекулярных свойств в процессе производства асфальтополимербетонных смесей БПВ модифицированного нефтяного дорожного битума и олеофильной поверхности минеральных материалов (расстояние менее $5 \cdot 10^{-10}$ м), на котором могут проявляться все виды межмолекулярных взаимодействий [7].

Активация поверхности минерального порошка (МП) СКМС-30 из раствора в углеводородах приводит к формированию на поверхности структурно-упрочненного слоя полимера, который повышает адгезию битумополимерного вяжущего к поверхности минерального порошка вследствие увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований со-

полимера СКМС-30 с активными центрами олеофильной поверхности, диффузии макромолекул бутадиенметилстирольного каучука в слой СКМС-30. Это создает прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией [7, 11, 13].

Структурно-упрочненный слой этиленглицидилакрилата на поверхности механоактивированного минерального материала также обеспечивает высокую адгезию битумополимерного вяжущего в результате увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований этиленглицидилакрилата структурированного ПФК-105 с олеофильной поверхностью и диффузии макромолекул Элвалоа АМ в адсорбционные слои терполимера на поверхности минеральных материалов [10, 11].

Целью исследования является разработка составов модифицированных асфальтобетонных смесей для устройства покрытий нежестких дорожных одежд с повышенной усталостной долговечностью под действием статических и кратковременных циклических нагрузок.

Объекты и методы исследований

В качестве базового битума для приготовления дорожных асфальтобетонов принят БНД 60/90 Павлодарского НПЗ, дата изготовления – март 2012 г. (паспорт качества № 6 от 29.03.2012) асфальтобетоны типов «А» и «Б» (составы В. А. Золотарева) [1]; асфальтобетон типа «Б», комплексно-модифицированный этиленглицидилакрилатом (битум модифицирован 2 % мас. Elvaloy-AM и 0,5 % мас. полифосфорной кислоты ПФК-105, и поверхностно-активированные минеральные материалы: 0,7 % мас. Elvaloy-AM); щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), стабилизированный гранулированной целлюлозной добавкой на основе битума Antrocel-G; литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой (битум модифицирован 2 % СКМС-30 и 30 % технической серы, поверхностно-активированный МП 0,5 % мас. СКМС-30).

В соответствии с работами Г. С. Бахраха, В. А. Золотарева, А. В. Руденского, Б. С. Радовского, Е. В. Угловой и др. [1, 2–5, 12] наиболее целесообразно исследовать усталостную долговечность асфальтобетона на образцах-балочках, подвергая их растяжению при изгибе от воздействия

циклических нагрузок одинаковой величины, обеспечивая тем самым постоянство напряженного состояния с регистрацией главного критерия оценки усталостной долговечности асфальтобетона – количества циклов до разрушения. Исследования выполнены на разработанной авторами установке, общий вид и схема которой приведены на рис. 1. Схема приложения нагрузки (2-х точечная) с целью создания зоны постоянного изгибающего момента в балочке для обеспечения чистого изгиба образца [4–6, 9].

Результаты экспериментальных исследований и их интерпретация

В соответствии с выбранными режимами испытания для оценки влияния температурных условий были выбраны следующие температурные режимы: + 60; + 20; + 10; 0; – 10; – 20 °С. Амплитуды растягивающих напряжений от кратковременной циклической нагрузки находятся в пределах от 0,2 до 1,0 МПа.

Усталостная долговечность асфальтобетонов в логарифмической системе координат в зависимости от температуры испытаний приведена на рис. 2, 3. Режим действия кратковременной

нагрузки: 0,1 с – нагружение; 0,9 с – отдых, т. е. циклическая нагрузка с частотой в 1 Гц.

В качестве критерия отказа (разрушения) асфальтобетонного образца под действием кратковременных циклических и статических нагрузок был принят прогиб балки величиной 4 мм. Как показали наблюдения, такой прогиб достаточен для появления магистральных усталостных трещин в диапазоне температур от +20 до минус 10 °С.

Исходя из полученных зависимостей (рис. 2, 3), значения коэффициентов усталостной долговечности (табл. 1) рассчитывали по формуле проф. А. В. Руденского [4]:

$$\operatorname{tg} \alpha = m = \frac{\lg \sigma_1 - \lg \sigma_2}{\lg N_2 - \lg N_1}, \quad (1)$$

где m – коэффициент усталости;

N_2 – количество циклов до разрушения при напряжении σ_2 ;

N_1 – количество циклов до разрушения при напряжении σ_1 .

Испытания обычных асфальтобетонов типов «А» и «Б» (ДСТУ БВ.2.7-119:2011) показали, что количество циклов до разрушения крупнозернистого

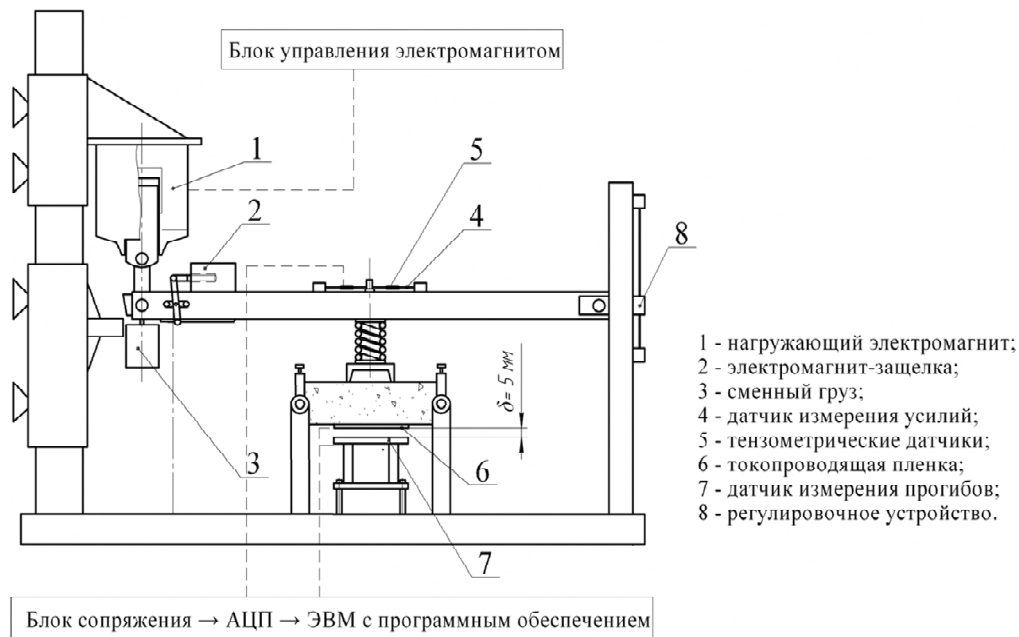
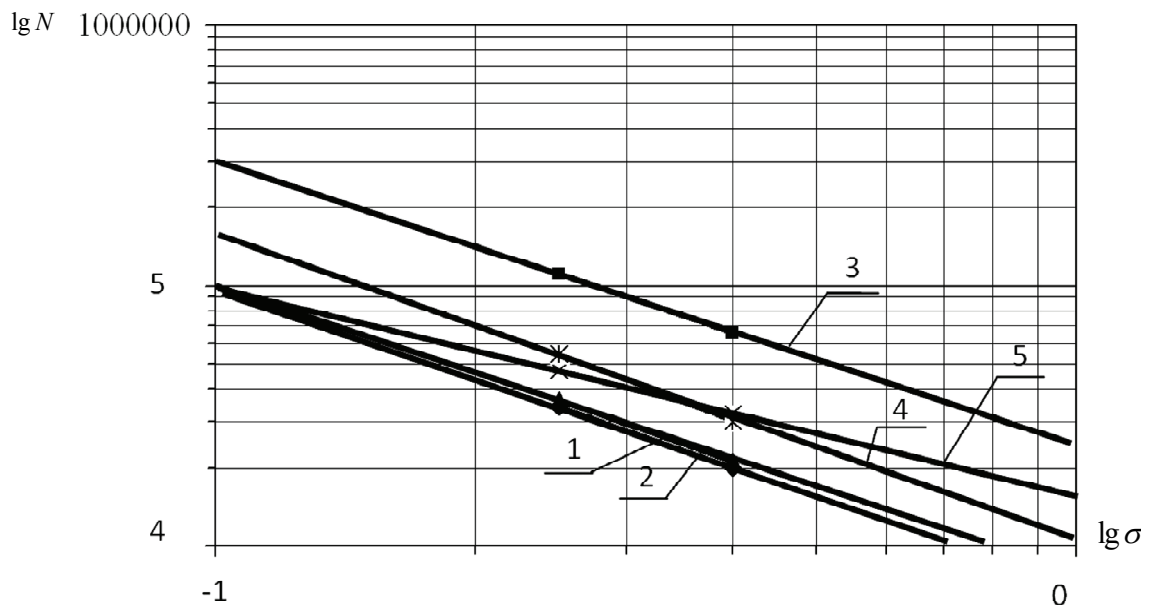


Рисунок 1. Общий вид и схема установки для испытания асфальтобетона на усталостную долговечность.

а) +20 °С:



б) +10 °С:

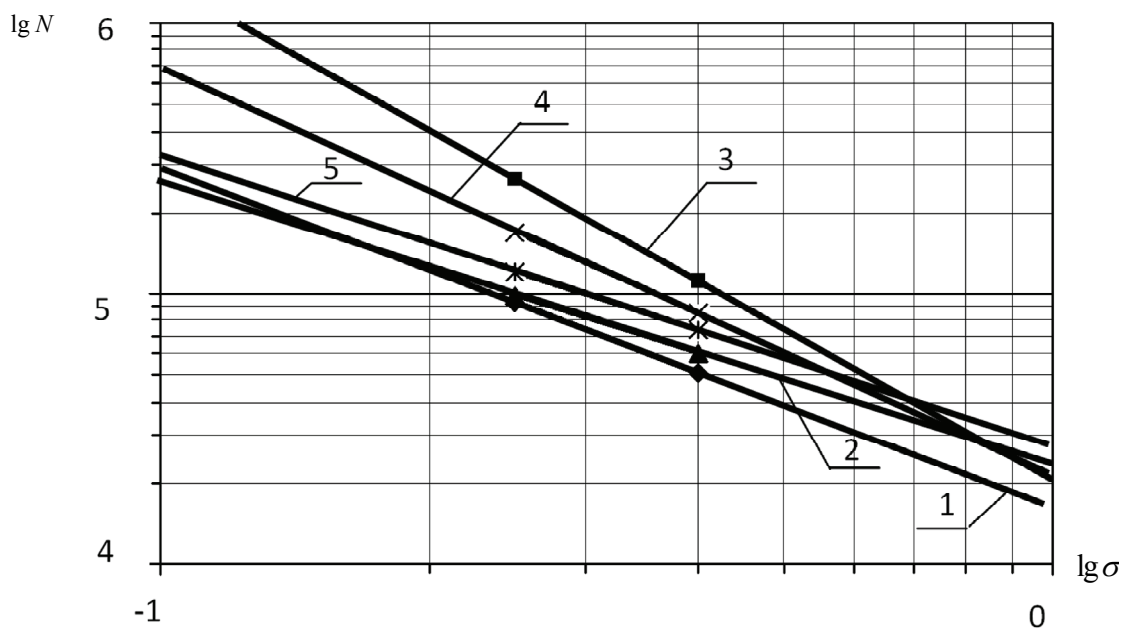
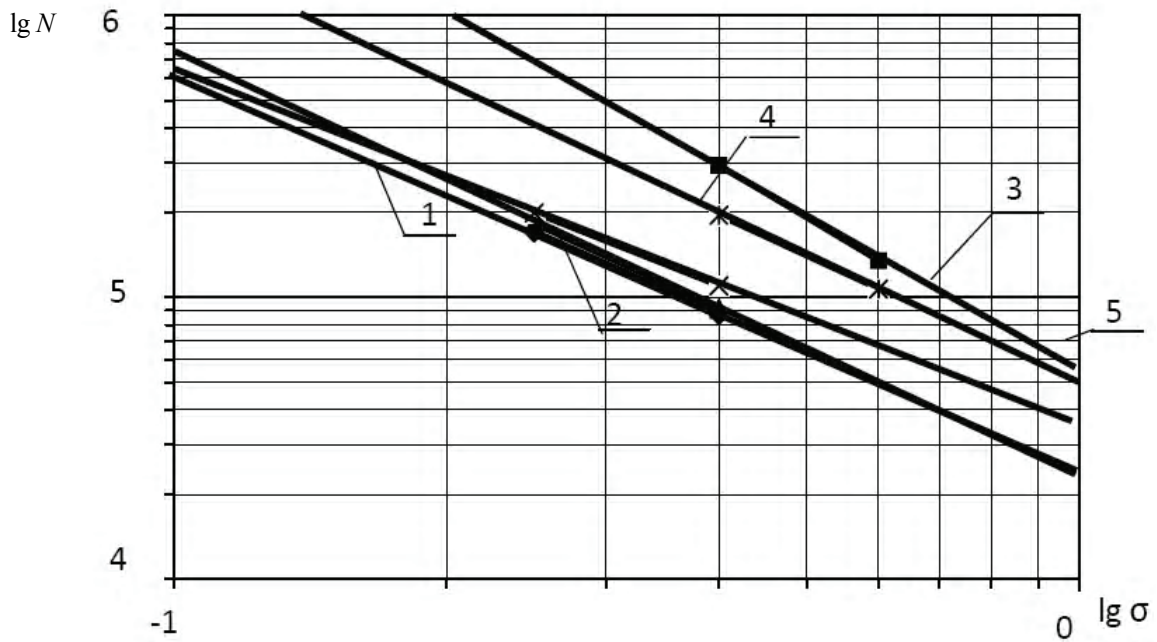


Рисунок 2. Усталостная долговечность асфальтобетонов: 1 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «А»); 2 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б»); 3 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б») с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом Eivalou-AM; 4 – литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой СКМС-30; 5 – ЦМА-10 с добавкой Antrocel-G.

а) 0 °С:



б) -10 °С:

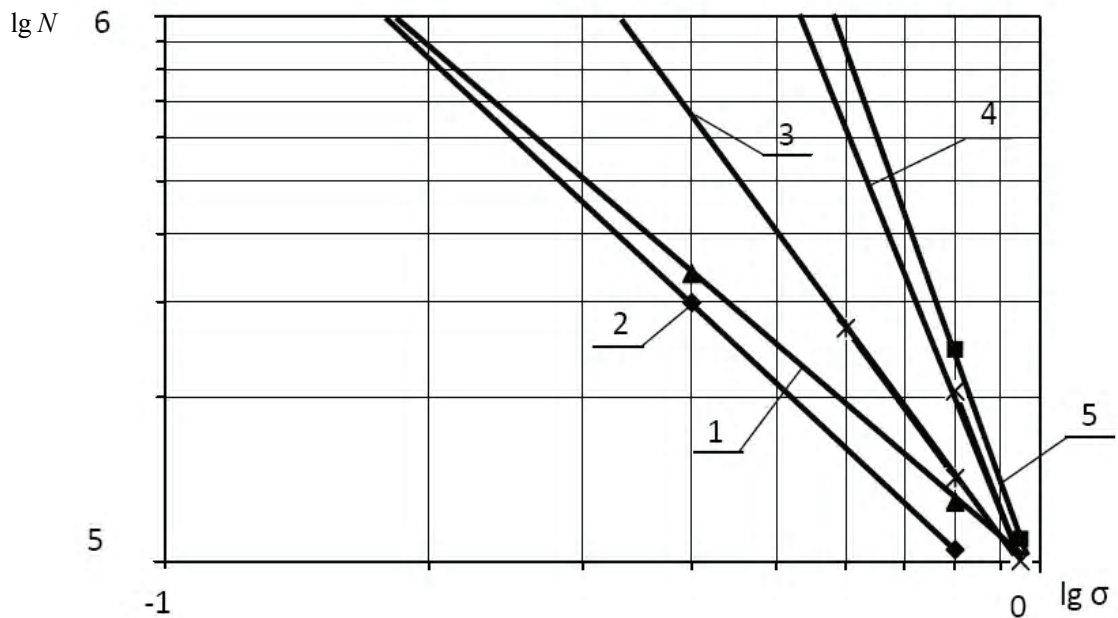


Рисунок 3. Усталостная долговечность асфальтобетон: 1 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «А»); 2 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б»); 3 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип «Б») с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидиакрилатом Elvaloy-AM; 4 – литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой СКМС-30; 5 – ЦМА-10 с добавкой Antrocel-G.

Таблица 1. Значения коэффициентов усталостной долговечности

Температура испытания, °С	Коэффициенты усталостной долговечности*(<i>m</i>) асфальтобетонов следующих типов				
	Тип «А»	Тип «Б»	Тип «Б» + Elvaloy-AM	Литой асфальтобетон + СКМС-30	ЩМА-10
+20	0,65	0,67	0,60	0,57	0,83
+10	0,56	0,59	0,48	0,55	0,80
0	0,52	0,48	0,40	0,49	0,56
-10	0,46	0,39	0,27	0,29	0,40

асфальтобетона при заданных напряжениях несколько ниже, чем среднезернистого, и характеризуется, вероятно, большей интенсивностью разрушения в связи с более высоким количеством пор и пустот внутри материала из-за повышенного содержания крупного минерального заполнителя. Полученные данные согласуются с данными, приведенными в работах [4–6, 9]. При этом коэффициенты усталости для обоих типов асфальтобетонов различаются незначительно.

Большим количеством циклов до разрушения по сравнению с обычными асфальтобетонами при всех температурах испытания характеризуется ЩМА, несмотря на повышенное процентное содержание крупных фракций щебня. Это может свидетельствовать о том, что структура ЩМА имеет более жесткий пространственный каркас, который способен более эффективно воспринимать заданные динамические напряжения. Повышенное содержание асфальтовязующего вещества в ЩМА приводит к снижению остаточной пористости и, следовательно, источников концентраторов напряжений и повышению усталостной долговечности. Но в то же время на всех графиках заметно, что линия наклона усталостной долговечности к линии абсцисс имеет более пологий угол по сравнению с другими асфальтобетонами, поэтому коэффициент *m* для ЩМА оказался самым высоким из всех типов асфальтобетонов. Следовательно, при большом количестве циклов динамической нагрузки усталостные разрушения в материале будут развиваться быстрее, чем в обычном асфальтобетоне. Это связано с тем, что структура ЩМА

характеризуется раздвижкой зерен минерального остова и присутствием в щебеночномастичном бетоне слабоструктурированного или объемного битума. Присутствие объемного битума в ЩМА способствует некоторому увеличению пластической деформации при растяжении (особенно при отрицательных температурах), а также снижению когезионной прочности материала при положительных температурах. Это подтверждается в работе [9], в которой показано, что в результате испытаний на прочность при сжатии ЩМА имел низкие показатели в сравнении с обычными асфальтобетонами типов «А» и «Б», тогда как имел предел прочности при изгибе достаточно высокий (выше, чем у типов «А» и «Б»).

Литой асфальтобетон имеет в среднем на 20–30 % более высокую усталостную долговечность по сравнению с обычными бетонами, что выражается и в пониженных коэффициентах усталостной долговечности. При положительных температурах (+20, +10 °С) коэффициент усталостной долговечности составил в среднем 0,56, а при минус 10 °С – 0,29. Несмотря на то, что повышенное содержание органического вяжущего, как правило, снижает прочность при положительных температурах вследствие накопления остаточных деформаций из-за большой концентрации свободного битума, однако благодаря комплексной модификации бутадиенметилстирольным каучуком структуры литого асфальтобетона значительное количество модифицированного вяжущего перешло в структурированное (пленочное) состояние. В периодах отдыха

пленки вяжущего проявляют эластические свойства и обеспечивают релаксацию внутренних напряжений, а надмолекулярный структурно-упрочненный слой бутадиенметилстирольного каучука на поверхности МП значительно повышает адгезию битумополимерного вяжущего к поверхности активированного минерального порошка [5, 9, 10, 13].

Самую высокую усталостную долговечность имеют образцы асфальтобетона типа «Б» с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM. Это подтверждает высказанное предположение о том, что оптимальная концентрация Elvaloy-AM (2,0 % мас. и 0,2 % полифосфорной кислоты (ПФК-105)) в модифицированном битуме и структурно-упрочненный слой этиленглицидилакрилата на поверхности поверхностно активированного минерального материала обеспечивает значительно прочную пространственную матрицу, благодаря чему коэффициенты усталости у данного типа асфальтобетона имеют минимальные значения, по сравнению со всеми другими типами исследуемых асфальтобетонов.

Таким образом, усталостная долговечность асфальтобетонов при кратковременных циклических нагрузках значительно зависит от структуры материала и находится в прямой зависимости от адгезионно-когезионных показателей

и эластичных свойств пленочного битума. Чем выше данные показатели у материала, тем большей усталостной долговечностью он будет обладать при воздействии динамических нагрузок.

На рис. 4 показано изменение количества циклов до разрушения в зависимости от периода «отдыха» (разгрузки) образца при испытании кратковременными циклическими нагрузками.

Из полученных данных следует, что асфальтобетон с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом выдерживает более чем в 2 раза больше количество циклов до разрушения по сравнению с обычным асфальтобетоном. Увеличение усталостной долговечности при повышении времени отдыха у модифицированного асфальтобетона свидетельствует о большей способности модифицированного асфальтовяжущего к эластической деформации, благодаря чему растягивающие переменные напряжения в паузе между нагрузкой снижаются и, следовательно, усталостные трещины развиваются менее интенсивно, чем у обычного асфальтобетона типа «Б».

В подтверждение этому была изучена связь между напряжением σ в мелкозернистом асфальтобетоне (тип «Б») и асфальтобетона с комплексно-модифицированной структурой Elvaloy-AM и деформацией ε при частоте дефор-

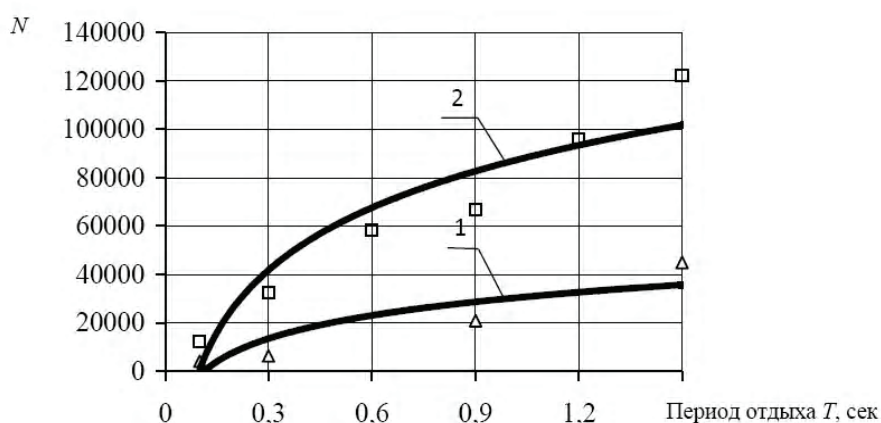


Рисунок 4. Зависимость количества циклов до разрушения N от периода отдыха T при воздействии циклической нагрузки в 0,1 сек при температуре 20 °С: 1 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $P_{25} = 67$ град. шкалы пенетрометра; минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $P_{25} = 67$ град. шкалы пенетрометра модифицирован 2 % мас. Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105, минеральные компоненты активированы 0,7 % мас. Elvaloy-AM.

мирования 0,5 Гц и температуре 20 °С по результатам исследований [10, 11] (рис. 5).

Таким образом, основываясь на результатах испытаний динамическими и статическими нагрузками, можно предположить, что область применения мелкозернистого асфальтобетона с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM достаточно обширна ввиду его высоких деформационно-прочностных показателей. Область применения литых асфальтобетонов относится преимущественно к скоростным горизонтальным участкам дорог (слои износа). Применение их на перекрестках и автобусных остановках приведет к постепенному возникновению различных сдвиговых дефектов в виде волн и колеиности особенно в теплое время года. Покрытия из смесей ЩМА целесообразно устраивать на участках дорог, где действуют преимущественно статические нагрузки от автотранспортных средств (остановки, развязки в одном уровне).

но статические нагрузки от автотранспортных средств (остановки, развязки в одном уровне).

Выводы

Экспериментально доказано, что комплексная модификация структуры асфальтобетона полимерными добавками этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM, бутадиенметилстирольным каучуком с одновременным воздействием на вяжущие и на минеральный материал обеспечивает более высокую усталостную долговечность, что вызвано значительным повышением адгезионно-когезионных свойств и эластичности асфальтовяжущих, повышенной уплотняемости асфальтобетонной смеси и, как следствие, снижением пор в структуре модифицированных асфальтобетонов, что положительно сказывается на их усталостной долговечности.

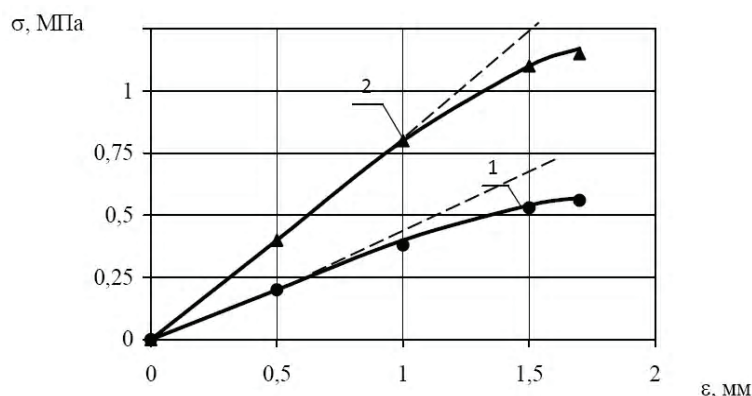


Рисунок 5. Зависимость между напряжением σ в мелкозернистом асфальтобетоне (тип «Б») и деформацией ε при частоте деформирования 0,5 Гц и температуре 20 °С: 1 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $P_{25} = 67$ град. шкалы пенетрометра; минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее – нефтяной дорожный битум $P_{25} = 67$ град. шкалы пенетрометра модифицирован 2 % мас. Elvaloy-AM + 0,2 % ПФК-105, минеральные компоненты активированы 0,7 % мас. Elvaloy-AM.

Литература

1. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов [Текст] / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища школа, 1977. – 116 с.
2. Бахрах, Г. С. Усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий и пути замедления этого процесса [Текст] / Г. С. Бахрах. – М., 1980. – 40 с. – (Строительство и эксплуатация автомобильных дорог : экспресс-информ. / ЦБНТИ Минавтодора РСФСР; вып. 9).

References

1. Zolotarev, V. A. Operational life of highway asphalt concrete. Kharkiv: High School, 1977. 116 p. (in Russian)
2. Bahrah, G. S. Endurance fracture of asphalt covering and the ways of slowing-down length of the process. Moscow, 1980. 40 p. (Civil engineering and road service: express-inform / Central Office for Scientific and Technical Information Minavtodora the Russian SESR; the ninth issue). (in Russian)

3. Дорожный асфальтобетон [Текст] / [Л. Б. Гезенцевей, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королев]. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
4. Руденский, А. В. Исследование усталости асфальтобетона [Текст] / А. В. Руденский, Т. Н. Калашникова // Труды ГипродорНИИ. 1973. – № 7. – С. 3–13.
5. Углова, Е. В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст] : дис. ... доктора тех. наук : 05.23.11 / Министерство образования и науки РФ, РГСУ. – Ростов-на-Дону, 2009. – 350 с.
6. Гончаренко, В. И. Термическая и динамическая усталость дорожного асфальтового бетона [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / В. И. Гончаренко; Министерство высшего и среднего специального образования УССР, МИСИ. – Макеевка, 1983. – 176 с.
7. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів [Текст] : Підручник для студентів вищих навчальних закладів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов ; МОН України, ДонНАБА, ХНАДУ. – Донецьк : Ноуліндж, 2013. – 338 с. ISBN 5-7763-0351-6.
8. Углова, Е. В. Расчет усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий [Текст] : учебное пособие / Е. В. Углова, О. В. Дровалева. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный строительный университет, 2008. – 104 с.
9. Дровалева, О. В. Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / О. В. Дровалева ; Министерство образования и науки РФ, РГСУ. – Ростов-на-Дону, 2009. – 202 с.
10. Самойлова, Е. Э. Дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой с использованием реакционно-способного термопласта Элвалой АМ [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Е. Э. Самойлова ; Министерство образования и науки Украины, ДонНАСА. – Макеевка, 2007. – 171 с.
11. Ахмед Талиб Мутташар Мутташар. Модифицированные асфальтобетонные смеси для устройства покрытий нежестких дорожных одежд в климатических условиях республики Ирак [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ахмед Талиб Мутташар Мутташар ; Министерство образования и науки Украины, ДонНАСА. – Макеевка, 2013. – 165 с.
12. Гезенцевей, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов [Текст] / Л. Б. Гезенцевей. – М. : Стройиздат, 1971. – 225 с.
13. Братчун, В. И. Литые асфальтобетоны повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, Н. А. Столярова, В. Л. Беспалов, И. Ф. Рыбалко // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту : науково-виробничий збірник / АДІ ДВНЗ «ДонНТУ». – Горлівка, 2007. – № 1(4). – С. 143–146.
3. Gezentsvei, L. B.; Gorelyshev, N. V.; Boguslavskii, A. M.; Korolev, I. V. Highway asphalt concrete. Moscow: Transport, 1985. 350 p. (in Russian)
4. Rudenskii, A. V.; Kalashnikova, T. N. Development of asphalt concrete fatigue. In: *The works of Gyprodor Research and Development Establishment*, 1973, № 7, p. 3–13. (in Russian)
5. Uglova, E. V. Theoretical and methodological foundation of valuation of residual fatigue life of asphalt concrete covering of highways: Ph.D. thesis in Engineering Science: 05.23.11. Rostov-on-Don, 2009. 350 p. (in Russian)
6. Goncharenko, V. I. Thermal and dynamic fatigue of road asphalt concrete: Ph.D. thesis in Engineering Science: 05.23.05. Makeevka, 1983. 176 p. (in Russian)
7. Bratchun, V. I.; Zolotarov, V. O.; Pakter, M. K.; Bespalov, V. L. Physical-chemical mechanism of constructional materials: Cousebooks for students of higher educational Institutions. Donetsk: Publishing House «Noulyndzh», 2013. 338 p. ISBN 5-7763-0351-6. (in Ukrainian)
8. Uglova, E. V.; Drovaleva, O. V. Fatigue life prediction of Asphalt covering: textbook. Rostov-on-Don: Rostov State Building University, 2008. 104 p. (in Russian)
9. Drovaleva, O. V. Fatigue life of asphalt covering under the influence of intensive traffic load: Ph.D. thesis in Engineering Science: 05.23.05. Rostov-on-Don, 2009. 202 p. (in Russian)
10. Samoilova, E. E. Road asphalt concretes, having complex and modified microstructure using reactive thermoplastics Elvala AM: Ph.D. in Engineering Science: 05.23.05. Makeevka, 2007. 171 p. (in Russian)
11. Ahmed Talib Muttashar Muttashar. Modified asphalt concrete mixes for paving of flexible pavement at climate conditions of the Republic of Iraq: Ph.D. in Engineering Science: 05.23.05. Makeevka, 2013. 165 p. (in Russian)
12. Gezentsvei, L. B. Asphalt concrete from doped inorganic material. Moscow: Stroizdat, 1971. 225 p. (in Russian)
13. Bratchun, V. I.; Stoliarova, N. A.; Bespalov, V. L.; Rybalko, I. F. Moulded asphalt concretes of increased endurance. In: *News of Automobile Highway Institute: Edited Volume*, 2007, № 1(4), p. 143–146. (in Russian)

Ромасюк Євген Олександрович – аспірант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих, розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Пактер Михайло Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів.

Стукалов Олександр Анатолійович – аспірант, асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Ромасюк Евгений Александрович – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих, разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Пактер Михаил Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов.

Стукалов Александр Анатольевич – аспирант, ассистент кафедры автомобильных дороги и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Romasjuk Evgeny – post-graduate student, Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: receipts of technological and lasting travelling concretes for building of structural layers of non-rigid travelling clothes based on retrofitting of organic astringent.

Bratchun Valery – D.Sc. in Engineering, Professor, Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics tech and durable concrete for road construction structural layers of non-rigid pavements based on modified organic binders, the development of efficient technologies for processing of man-made materials in the components of composite materials.

Pakter Mixail – Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and lasting road concretes for building of structural layers of non-rigid road coats based on modification of organic astringent and complex microstructure modification of concretes.

Stukalov Aleksandr – post-graduate student, assistant, Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: receipts of technological and lasting travelling concretes for building of structural layers of non-rigid travelling clothes based on retrofitting of organic astringent.