

УДК 625.855.3

Е. А. РОМАСЮК, В. Л. БЕСПАЛОВ, В. П. ДЕМЕШКИН

Донецкая национальная академия строительства и архитектуры

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
АСФАЛЬТОБЕТОНОВ С КОМПЛЕКСНО-МОДИФИЦИРОВАННОЙ
СТРУКТУРОЙ**

Экспериментально доказано, что комплексная модификация структуры асфальтобетона, а именно: поверхностная активация минеральных компонентов и битума асфальтового бетона этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM, позволила повысить усталостную долговечность модифицированных асфальтобетонов (65 100 циклов по сравнению с 22 000 циклов традиционного асфальтобетона (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) при изгибающем кратковременном напряжении 0,4 МПа. Показано, что усталостные зависимости модифицированных асфальтобетонов, построенные в логарифмических координатах, имеют более пологий угол наклона, что свидетельствует о меньшем влиянии повторных динамических нагружений на величину остаточных деформаций по сравнению с традиционными и щебеночно-мастичными асфальтобетонами (ЩМА). Установлено, что для обеспечения максимальной усталостной долговечности в асфальтобетонах типов А и Б содержание битума должно быть больше на 0,5 % в сравнении с оптимальным содержанием органического вяжущего, рассчитанным по методу СоюзДорНИИ (Н. Н. Иванова и В. В. Охотина).

битум, асфальтобетон, модификатор, механоактивация, прочность, усталостная долговечность

В процессе эксплуатации автомобильной дороги все конструктивные слои дорожной одежды испытывают комплекс транспортных нагрузок, действие температуры, водонасыщения-высушивания, замораживания и оттаивания, и других воздействий. В результате этого формируются напряжения различной величины и знака. Наиболее существенным является сочетание комплекса воздействий из погодно-климатических факторов и динамического нагружения от автотранспорта. Особенностью нагрузки от транспортных средств является то, что напряжения, возникающие в материалах дорожного покрытия, а это в основном сжимающие напряжения на поверхности покрытия и растягивающие напряжения в нижних слоях дорожной одежды, при однократном действии могут и не превышать критических значений, однако при многократном приложении динамических механических нагрузок в асфальтобетонном покрытии в конечном итоге развиваются усталостные процессы. Это приводит к постепенному накоплению дефектов структуры материала и образованию колеиности, наплывов, усталостных трещин с последующим разрушением дорожного покрытия [1–4].

Целью данной работы является экспериментальное исследование усталостной долговечности комплексно-модифицированных асфальтобетонов различных гранулометрических типов при воздействии кратковременных циклических нагрузок с установлением оптимального содержания органического вяжущего, обеспечивающего наибольшую усталостную долговечность асфальтобетона.

Основываясь на теориях разрушения композиционных материалов и работ в области изучения напряженно-деформируемого состояния асфальтобетона [5, 6, 11], предполагается, что под действием динамических нагрузок различной величины в наиболее слабых местах структуры материала, а именно в порах и пустотах, возникают напряжения различных 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 – по прослойкам свободного битума, по границе адсорбционно-солевых

слоев органического вяжущего, либо же по контактной зоне минерального материала и вяжущего (при условии недостаточной прочности адгезионных связей) [5, 6].

Таким образом, научная гипотеза данного исследования состоит в том, что получение асфальтобетона для верхнего слоя дорожного покрытия, обладающего повышенной усталостной долговечностью, возможно при создании такой структуры асфальтобетона, которая рационально сочетает наиболее плотную упаковку полидисперсных частиц минерального остова (микроструктура плавно переходит в мезоструктуру, а затем в макроструктуру) и непрерывную пространственную сетку эластичного органического вяжущего с высокими значениями адгезии и когезии при минимально возможной толщине асфальтовяжущего вещества. В связи с тем, что важнейшей составляющей структуры долговечного асфальтобетона является контактная зона – зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов, регулирование объемного и структурированного битума, а также интенсификация процессов взаимодействия на поверхности раздела фаз «битум – минеральный материал» позволит значительно повысить деформационно-прочностные свойства асфальтобетона [7–10].

В настоящее время наиболее эффективным способом повышения основных физических и деформационно-прочностных свойств асфальтобетонов, являются одновременная модификация органических вяжущих такими добавками, как: термоэластопласт типа SBS марки Kraton D 1101, этиленглицидилакрилат марки Elvaloy-AM, комплексная добавка на основе бутадиенметилстирольного каучука и технической серы, а также поверхностная активация щебня, песка и минерального порошка растворами полимеров [5, 7–9, 11, 12].

Поверхностная активация минеральных материалов полимерными добавками из раствора 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 [8].

Активация поверхности минерального порошка (МП) СКМС-30 (механоактивация или поверхностная активация из раствора СКМС-30 в бензине) 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 сополимера 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 [8, 9].

Аналогично структурно-упрочненный слой этиленглицидилакрилата на поверхности поверхностно-активированного минерального материала обеспечивает высокую адгезию битумополимерного вяжущего в результате увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований этиленглицидилакрилата структурированного ПФК-105 с олеофильной поверхностью и диффузии макромолекул Elvaloy-AM в адсорбционные слои терполимера на поверхности минеральных материалов [8].

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Асфальтобетоны типов А, Б (составы В. А. Золотарева) [1]; асфальтобетон тип 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, МП поверхностно-активированный 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, со следующими режимами циклического нагружения: нагрузка – 0,1 с, отдых – 0,9 с, т. е. циклические нагружения с частотой 1 Гц; величина циклической нагрузки – 20 % от разрушающей; температурный режим испытания: 20 °С; схема приложения нагрузки (2-х точечная) с целью создания зоны постоянного изгибающего момента в балочке для обеспечения чистого изгиба образца [4, 5, 12].

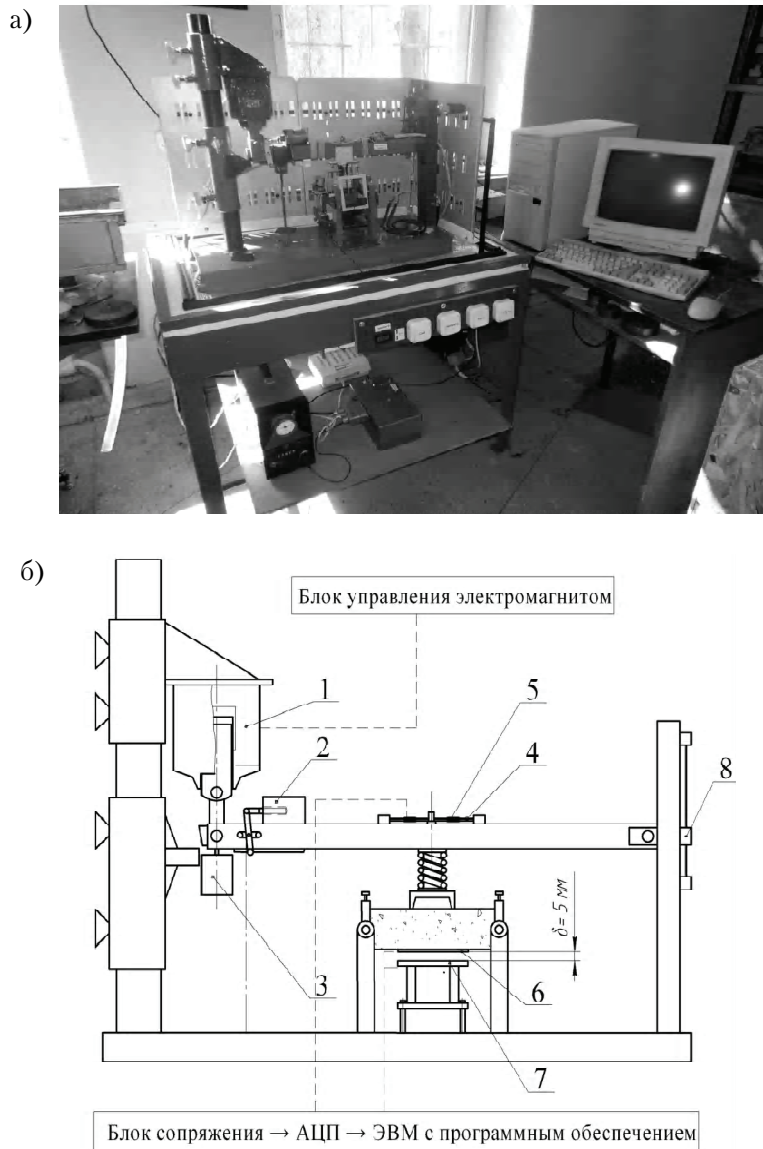


Рисунок 1 – Общий вид и схема установки для испытания асфальтобетона на усталостную долговечность:
 а) общий вид; б) схема установки: 1 – нагружающий электромагнит; 2 – электромагнит-защелка;
 3 – сменный груз; 4 – датчик измерения усилий; 5 – тензометрические датчики; 6 – токопроводящая пленка;
 7 – датчик измерения прогибов; 8 – регулировочное устройство.

Испытания традиционных асфальтобетонов типов А, Б (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) показали, что оптимальная концентрация битума, обеспечивающая наибольшую усталостную долговечность для асфальтобетона типа А, составила – 5 % при количестве циклов до разрушения 19 800, для типа Б – 5,5 % при 22 000 циклов. Как видно, динамическая усталостная долговечность крупнозернистого асфальтобетона несколько ниже, чем среднезернистого, что характеризуется, вероятно, большей интенсивностью разрушения в связи с более высоким количеством пор и пустот внутри материала из-за большего содержания щебня. Но в то же время при испытании асфальтобетона статической

нагрузкой такой же величины время до разрушения асфальтобетона типа А выше и составляет 13 800 сек, а для типа Б – 12 600 сек при оптимальном содержании битума 4,8 и 5,0 %, соответственно (рис. 2). Таким образом, для обеспечения повышенной усталостной долговечности асфальтобетона необходимо несколько большее содержание битума, что вызвано лучшим заполнением пор битумом в структуре материала и, следовательно, меньшим количеством участков концентрации критических напряжений, что согласуется с данными Г. С. Бахраха [2].

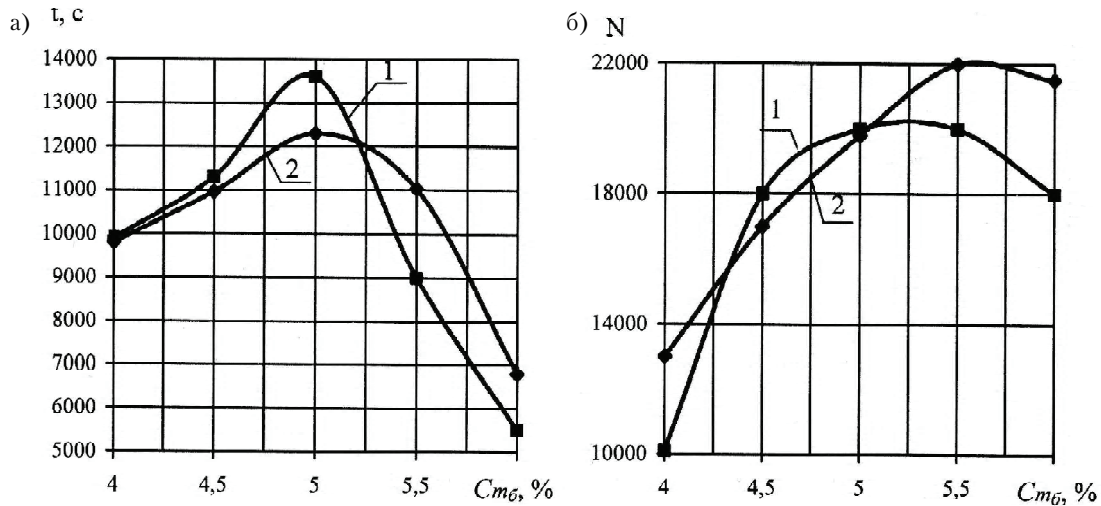


Рисунок 2 – Усталостная долговечность асфальтобетона при статическом нагружении (0,4 МПа); а) и кратковременном циклическом нагружении (0,4 МПа); б) при температуре 20 °С в зависимости от содержания битума БНД 60/90: 1 – асфальтобетон тип А; 2 – асфальтобетон тип Б.

Для построения зависимостей усталостной долговечности асфальтобетонов разных типов в логарифмических координатах (рис. 3) и их сравнения (рис. 4) были выбраны следующие значения напряжений: 0,25 МПа и 0,40 МПа (величина кратковременных нагрузок: 110 и 180 Н соответственно).

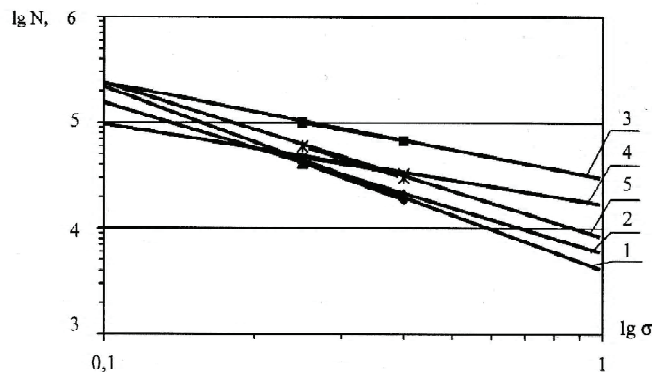


Рисунок 3 – Усталостная долговечность асфальтобетонов: 1 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип А); 2 – асфальтобетон (тип Б); 3 – асфальтобетон (тип Б), с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM; 4 – литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой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

Сравнение усталостной долговечности горячего асфальтобетона с комплексной модификацией микро-, мезо- и макроструктуры этиленглицидилакрилатом с традиционным (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) показывает, что комплексно-модифицированные этиленглицидилакрилатом асфальтобетоны характеризуются более высокой усталостной долговечностью (65 100 циклов по сравнению с 22 000 циклов обычного асфальтобетона при изгибающем кратковременном напряжении 0,4 МПа). При этом также

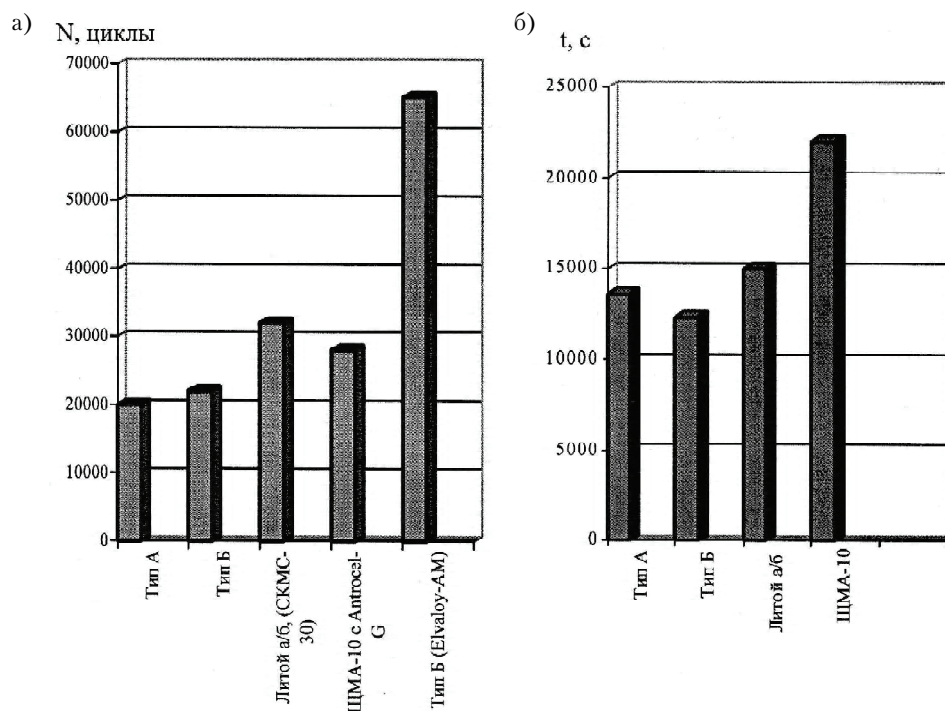


Рисунок 4 – Сравнение значений усталостной долговечности при кратковременном (0,1 с) (а) и статическом нагружении (б) (20°С) различных типов асфальтобетонов.

виден более пологий угол наклона усталостных зависимостей модифицированных асфальтобетонов, и в частности литого асфальтобетона, что говорит о их более высокой усталостной долговечности, по сравнению с обычными асфальтобетонами и ЦМА.

ВЫВОДЫ

Экспериментально доказано, что комплексная модификация структуры асфальтобетона полимерными добавками с одновременной модификацией вяжущего и минерального материала обеспечивает более высокую усталостную долговечность, что вызвано значительным повышением адгезионно-когезионных свойств, эластичностью асфальтовяжущих, повышенной уплотняемостью асфальтобетонной смеси и, как следствие, снижением пор в структуре модифицированных асфальтобетонов, что снижает концентрацию напряжений и положительно сказывается на их усталостной долговечности. Установлено, что мелкозернистые асфальтобетоны обладают большей усталостной долговечностью, что вызвано, по-видимому, меньшим содержанием пор и пустот в структуре материала. При этом для обеспечения наибольшей усталостной долговечности в асфальтобетонах типов А и Б содержание битума должно быть больше на 0,5 %, рассчитанному по методу СоюзДорНИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог. – М., 1980. – № 9. – С. 42.
3. Дорожный асфальтобетон [Текст] / [Л. Б. Гезенцевей, Н. В. Горельшев, 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. – М., 1973. – № 7. – С. 3–13.
5. Углова, Е. В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. доктора тех. наук : 05.23.11. – Защищена 29.12.2009 ; утв. 5.03.2009 / 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. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук : 05.23.05. – Защищена 22.03.1983 ; утв. 15.05.1983 / 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. Самойлова, Е. Э. Дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой с использованием реакционно-способного термопласта Элвалой АМ [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук : 05.23.05. – Защищена 05.07.2007 ; утв. 05.07.2007 / Е. Э. Самойлова ; Министерство образования и науки Украины, ДонНАСА. – Макеевка, 2007. – 171 с.
9. Мутташар, Ахмед Талиб Мутташар. Модифицированные асфальтобетонные смеси для устройства покрытий нежестких дорожных одежд в климатических условиях республики Ирак [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук : 05.23.05. – Защищена 26.12.2013 ; утв. 26.12.2013 / Ахмед Талиб Мутташар Мутташар ; Министерство образования и науки Украины, ДонНАСА. – Макеевка, 2013. – 165 с.
10. Гезенцевей, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов [Текст] / Л. Б. Гезенцевей. – М. : Стройиздат, 1971. – 225 с.
11. 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.
12. Дровалева, О. В. Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук : 05.23.05. – Защищена 08.12.2009 ; утв. 20.02.2010 / О. В. Дровалева ; Министерство образования и науки РФ, РГСУ. – Ростов-на-Дону, 2009. – 202 с.

Получено 05.12.2014

Є. О. РОМАСЮК, В. Л. БЕСПАЛОВ, В. П. ДЕМЕШКІН
ДОСЛІДЖЕННЯ УТОМЛЕНІСНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬГОБЕТОНІВ
З КОМПЛЕКСНО-МОДИФІКОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Експериментально доведено, що комплексна модифікація структури асфальтобетону, а саме поверхнева активація мінеральних компонентів та бітуму асфальтобетону етиленгліцидилакрилатом марки Elvaloy-AM, дозволила підвищити утомленісну довговічність модифікованих асфальтобетонів (65 100 циклів у порівнянні з 22 000 циклів традиційного асфальтобетону (ДСТУ Б В.2.7-119: 2011) при згинальній короткочасній нарузі 0,4 МПа. Показано, що утомленісні залежності модифікованих асфальтобетонів, побудовані в логарифмічних координатах, мають більш пологий кут нахилу. Про це свідчить менший вплив повторних динамічних навантажень на значення залишкових деформацій в порівнянні з традиційними та щебеневі-мастиковими асфальтобетонами (ЩМА). Встановлено, що для забезпечення максимальної утомленісної довговічності в асфальтобетонах типів А і Б вміст бітуму повинен бути більш на 0,5 % у порівнянні з оптимальним вмістом органічного в'язучого, розрахованим за методом СоюзДорНДІ (Н. Н. Іванова і В. В. Охотіна).

бітум, асфальтобетон, модифікатор, механоактивація, міцність, утомленісна довговічність

EUGENIY ROMASYUK, VITALY BESPALOV, VALENTIN DEMESCHKIN
INVESTIGATION OF THE FATIGUE LIFE OF ASPHALT MODIFIED WITH
COMPLEX STRUCTURE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Experimentally proved that the complex structure of the modification of asphalt concrete, namely surface activation minerals and bitumen asphalt concrete ethylene-glycidyl acrylate brand Elvaloy-AM has improved the fatigue life of the modified asphalt (65 100 cycles compared to 22 000 cycles of conventional asphalt concrete (DSTU B V.2.7-119: 2011) for short-term bending stress of 0,4 MPa. It is shown that fatigue depending modified asphalt built in logarithmic coordinates, have a flatter slope angle, indicating that the smaller the impact of repeated dynamic loading on the value of the residual strains in comparison with traditional and stone mastic asphalt concrete (SMA). It was found that for maximum fatigue life of asphalt concrete in types A and B asphalt content should be more than 0,5 % in comparison with the optimal content of organic binder, calculated by the method of SoyuzDorNII (N. N. Ivanov and V. V. Ohotina).

bitumen, asphalt modifier, mechanical activation, strength, fatigue life

Ромасюк Євген Олександрович – аспірант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: отримання довговічних дорожніх асфальтобетонів з використанням модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування мікроструктури асфальтобетонів.

Беспалов Віталій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг підвищеної довговічності.

Демешкін Валентин Павлович – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Ромасюк Евгений Александрович – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение долговечных дорожных асфальтобетонов с использованием модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования микроструктуры асфальтобетонов.

Беспалов Виталий Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: синтез органических вяжущих для производства композиционных дорожно-строительных материалов, используемых при строительстве конструктивных слоев жестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности.

Демешкин Валентин Павлович – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Eugeny Romasyuk – post-graduate student, Highways and Air fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technological and long life road concretes for building of flexible pavement layers on the basis of modification of organic binders and complex modification of microstructure of asphalt.

Bespalov Vitaly – PhD (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: synthesis of organic astringent for a production road-build materials of compositions, used for building of structural layers of non-rigid travelling clothes of highways of the promoted longevity.

Demeschkin Valentin – senior teacher, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies of processing of man-triggered raw material in the components of materials of compositions.