

EDN: DVNNDU

UDC 625.87

VASILYI ZHEVANOV, VALERY BRATCHUN, VIOLETTA POSTOENKOFSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,
Makeyevka, DPR, Russian Federation

INCREASING THE FATIGUE LIFE OF ASPHALT CONCRETE BY COMPLEX MODIFICATION OF THEIR STRUCTURE

Abstract. It has been experimentally proved that the complex modification of the structure of asphalt concrete, namely: surface activation of mineral components and bitumen of asphalt concrete with ethylene glycidylacrylate of the Elvaloy-AM brand allowed to increase the fatigue life of modified asphalt concrete (65,100 cycles compared with 22,000 cycles of traditional asphalt concrete (DSTU B V.2.7-119:2011) at a bending short-term stress of 0.4 MPa. It is shown that the fatigue dependences of modified asphalt concrete, constructed in logarithmic coordinates, have a more gentle slope angle, which indicates a lesser effect of repeated dynamic loads on the magnitude of residual deformations, compared with traditional and crushed-mastic asphalt concrete (CMAC). It is established that in order to ensure maximum fatigue durability in asphalt concrete of types A and B, the bitumen content should be 0.5 % higher in comparison with the optimal content of organic binder calculated by the Soyuzdornia method (N. N. Ivanov and V. V. Okhotina).

Keywords: bitumen, asphalt concrete, modifier, mechanical activation, strength, fatigue durability.

INTRODUCTION

During the operation of the highway, all structural layers of the road structure experience a complex of transport loads, that is the effect of temperature, water saturation-drying and other influences, as a result of which stresses of various magnitude and sign are formed. The most significant is the complex of impacts, consisting of weather and climatic factors and the dynamic loading from vehicles. The peculiarity of the load from vehicles is that the stresses arising in the pavement materials, which are mainly compressive stresses on the surface of the coating and tensile stresses in the lower layers of the coating, may not exceed critical values, however, with repeated application of dynamic mechanical loads in the asphalt concrete coating, fatigue processes are eventually developing. This leads to a gradual accumulation of defects in the structure of the material and the formation of various types of coating defects in the form of ruts, surges and fatigue cracks, followed by the destruction of the pavement [1–3].

The purpose of this work is an experimental study of the fatigue durability of asphalt concrete of various types and asphalt polymer concrete under the influence of short-term cyclic loads of various granulometric types with the establishment of the optimal content of the organic binder, providing the greatest strength of asphalt concrete.

PROBLEM STATEMENT

Based on the theories of the destruction of composite materials and works in the field of studying the stress-strain state of asphalt concrete [4, 5], it is assumed that under the influence of dynamic loads of various sizes in the weakest places of the structure of the material, namely in the pores and voids, stresses of various signs arise, a gradual increase in which further leads to a gradual bond rupture at the molecular level, followed by the formation of so-called hairline cracks or plastic shifts of microscopic particles. Further development of microscopic cracks and their fusion will capture macro-volumes of the material, while the crack propagation will take place along the most energetically advantageous paths, i.e. through layers of free bitumen, along the boundary of adsorption-solvate layers of organic binder, or along the contact zone of mineral material and binder (provided there are insufficient adhesive bonds) [4, 5].

© Vasily Zhevanov, Valery Bratchun, Violetta Postoenko, 2023



Thus, the scientific hypothesis of this study is that the production of asphalt concrete for the upper layer of the pavement, which has increased fatigue durability, is possible when creating such an asphalt concrete structure that rationally combines the densest packing of polydisperse particles of the mineral backbone (the microstructure smoothly transitions into a mesostructure, and then into a macrostructure) and a continuous spatial grid of elastic organic binder with high values of adhesion and cohesion at the lowest possible thickness of the asphalt binder. Due to the fact that the most important component of the structure of durable asphalt concrete is the contact zone – the zone of interaction of the organic binder with the surface of mineral materials, the regulation of volumetric and structured bitumen, as well as the intensification of interaction processes on the interface of phases «bitumen – mineral material» will significantly increase the deformation and strength properties of asphalt concrete [6–8].

SOLUTION METHODS

Currently, the most effective way to improve the basic physical and deformation-strength properties of asphalt concrete is the simultaneous modification of organic binders with additives such as: thermoplastics of the SBS type of the Kraton D 1101 brand, ethylene glycidylacrylate of the Elvaloy-AM brand, a combined additive based on butadiene rubber and technical sulfur, as well as modification of mineral materials (in particular, mechanical activation of the mineral powder by polymer additives) [4, 6–8].

Mechanical activation of the surface of mineral materials with these polymer additives provides fine regulation of the molecular properties of the surface of crushed stone, sand and a mineral powder. This leads to its maximum affinity with a bitumen polymer binder (BPV), which ensures its complete wetting with a modified organic binder. The maximum convergence of molecular properties occurs during the production of asphalt-polymer-concrete mixtures of modified petroleum road bitumen and oleophilic surface of mineral materials (distance less than $5 \cdot 10^{-10}$ m) on which all kinds of intermolecular interactions can manifest themselves [7].

Activation of the surface of the mineral powder (MP) of SCMS-30 (mechanical activation or from a gasoline solution) will lead to the formation of a structurally strengthened polymer layer on the surface, which increases the adhesion of the bitumen polymer binder to the surface of the mineral powder due to an increase in the number of contacts of segments of supramolecular formations of the SCMS-30 copolymer with active centers of the oleophilic surface, diffusion of macromolecules of butadiene methyl styrene rubber into the layer SCMS-30. This creates a strong and elastic spatial matrix of asphalt polymer concrete with high adhesion and cohesion [8, 9].

The structurally strengthened layer of ethylene glycidylacrylate on the surface of the mechanically activated mineral material provides high adhesion of the bitumen polymer binder as a result of an increase in the number of contacts of segments of supramolecular formations of ethylene glycidylacrylate structured PFC-105 with the oleophilic surface and diffusion of macromolecules of Elvaloy AM into the adsorption layers of terpolymer on the surface of mineral materials [8].

Objects of research: asphalt concrete of types A, B (compositions of V. A. Zolotarev); asphalt concrete of type B, complexly modified with ethylene glycidylacrylate (modified bitumen: 2 % by weight Elvaloy-AM + 0.5 % by weight of PFC-105 polyphosphoric acid and mechanoactivated mineral materials: 0.7 % by weight. Elvaloy-AM); crushed-mastic asphalt concrete (SHMA) with the addition of a granular stabilizing cellulose additive based on Antrocel-G bitumen, cast asphalt concrete with a complex modified structure (modified bitumen: 2 % SCMS-30 + 30 % tech. sulfur and mechanical activation of MP: 0.5 % wt. SCMS-30).

In accordance with the works of A. V. Rudensky, B. S. Radovsky, E. V. Ugolovaya, etc. [2–5, 9], it is most expedient to conduct studies of the fatigue durability of asphalt concrete on beam samples, subjecting them to stretching during bending from the effects of cyclic loads of the same magnitude, thereby ensuring the constancy of the stress state with the registration of the main criterion for assessing fatigue durability of asphalt concrete that is the number of cycles before destruction. Thus, the studies were carried out on a specially designed installation with the following test modes: cyclic loading modes: load – 0.1 s, rest – 0.9 s, i.e. cyclic loading with a frequency of 1 Hz; cyclic load value – 20 % of the destruction; temperature test mode: + 20 °C; load application scheme (2-points) in order to create a zone of constant bending moment in the beam, to ensure a clean bending of the sample [4].

Analysis of the results obtained. Tests of conventional asphalt concrete of types A and B showed that the optimal concentration of bitumen, providing the greatest fatigue life for asphalt concrete of type A was 5 % with the number of cycles before destruction of 19 800, for type B it was 5.5 % with 22 000 cycles. As it can be seen, the fatigue failure of coarse-grained asphalt concrete is somewhat lower than that of medium-grained concrete, which is characterized, apparently, by a greater intensity of destruction due to a higher number of

pores and voids inside the material due to a higher content of crushed stone. But at the same time, when testing asphalt concrete with a static load of the same magnitude, the time of destruction of asphalt concrete of type A is higher and lasts 13 800 seconds, and for type B it is 12 600 seconds with an optimal bitumen content of 4.8 % and 5 %, respectively. Therefore, the fatigue durability of asphalt concrete is characterized by a slightly higher bitumen content, which is caused by better filling of the pores with bitumen in the structure of the material and, consequently, fewer places of concentration of critical stresses.

To construct the dependences of fatigue durability of asphalt concrete of different types in logarithmic coordinates (fig. 1) and their comparison (fig. 2), the following stress values were selected: 0.25 MPa and 0.4 MPa (the value of short-term loads: 110 N and 180 N, respectively).

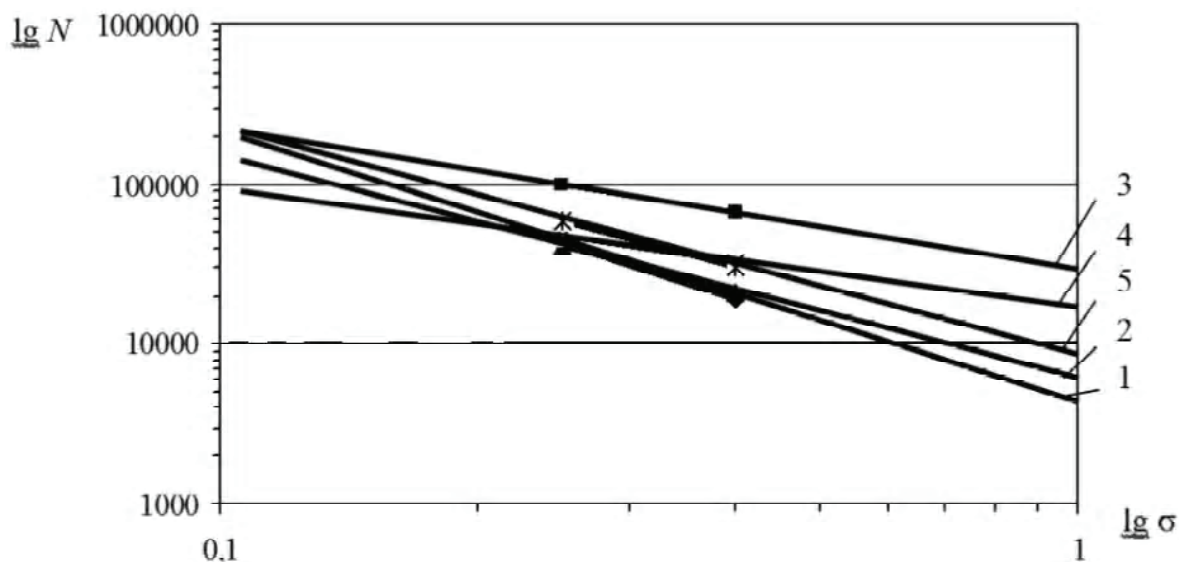


Figure 1 – Fatigue life of asphalt concrete: 1 – ordinary asphalt concrete on bitumen BND 60/90 (type A); 2 – ordinary asphalt concrete (type B); 3 – asphalt concrete (type B), with a complex structure modified by ethylene glycidylacrylate Elvaloy-AM; 4 – cast asphalt concrete with a complex modified structure SCMS-30. 5 – SHMA-10 with Antrocel-G additive.

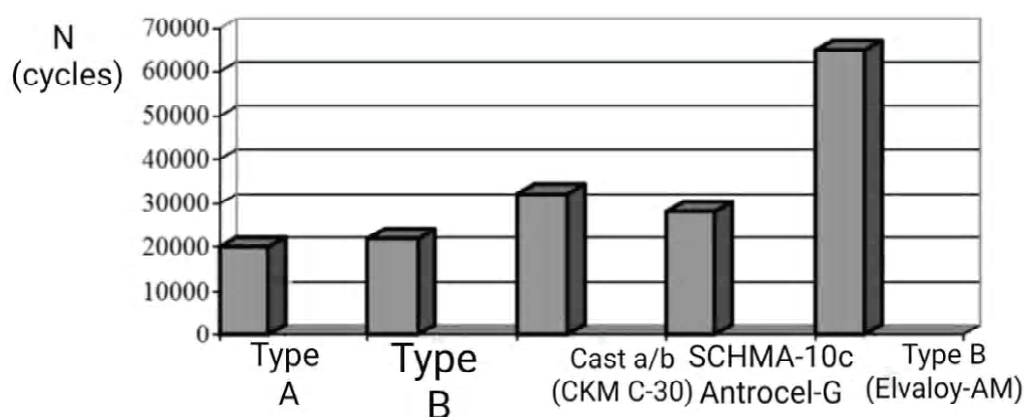


Figure 2 – Comparison of fatigue life values under short-term loading (0.1 s, 0.4 MPa) (+20 °C) of various types of asphalt concrete.

Comparison between fatigue durability of hot asphalt concrete with complex modification of micro-, meso- and macrostructure with ethylene glycidylacrylate and traditional (DSTU BV.2.7-119:2011) shows that

complex modified ethylene glycidylacrylate asphalt concrete is characterized by a higher fatigue life (65 100 cycles compared with 22,000 cycles of conventional asphalt concrete at a bending short-term stress of 0.4 MPa). At the same time, a more gentle angle of inclination of the fatigue dependencies of modified asphalt concrete and cast asphalt concrete is also visible, which indicates their higher fatigue life compared to conventional asphalt concrete and concrete blocks.

CONCLUSIONS

Thus, it has been experimentally proved that the complex modification of the structure of asphalt concrete with polymer additives with simultaneous effects on binders and a mineral material provides higher fatigue life, which is caused by a significant increase in the adhesive-cohesive properties and elasticity of asphalt binders, and consequently increased compaction and, as a consequence, a decrease in pores in the structure of modified asphalt concrete, which has a positive effect on their fatigue durability.

REFERENCES

1. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В. А. Золотарев. – Харьков : Высшая школа, 1977. – 116 с. – Текст : непосредственный.
2. Дорожный асфальтобетон / [Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королев]. – Москва : Транспорт, 1985. – 350 с. – Текст : непосредственный.
3. Руденский, А. В. Исследование усталости асфальтобетона / А. В. Руденский, Т. Н. Калашникова. – Текст : непосредственный // Труды ГипродорНИИ. – 1973. – Том 7. – С. 3–13.
4. Углова, Е. В. Теоретико-методологические основы оценки эксплуатационного ресурса асфальтобетонных дорожных покрытий : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Углова Евгения Владимировна ; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Ростов-на-Дону : РГГУ, 2009. – 350 с. – Текст : непосредственный.
5. Гончаренко, В. И. Термическая и высотная усталость асфальтобетонной дороги : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гончаренко Валентин Иванович. – Макеевка : МИСИ, 1983. – 176 с. – Текст : непосредственный.
6. Физико-химическая механика строительных материалов / [В. И. Братчун, В. А. Золотарев, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов]. – Харьков : ДонНАБА, 2011. – 366 с. – Текст : непосредственный.
7. Самойлова, Е. Э. Дорожный асфальтобетон с модифицированной микроструктурой с использованием реакционноспособного термопластика Elvalo : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Самойлова Елена Эдуардовна. – Макеевка : ДонНАСА, 2007. – 171 с. – Текст : непосредственный.
8. Ахмед Талиб Мутташар Мутташар. Модифицированные асфальтобетонные ограждения М_i для устройства покрытий нежестких дорожных покрытий в климатических условиях Республики Иран : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ахмед Талиб Мутташар Мутташар. – Макеевка : ДонНАСА, 2013. – 155 с. – Текст : непосредственный.
9. Братчун, В. И. Литой асфальтобетон повышенной прочности / В. И. Братчун, Н. А. Столярова, В. Л. Беспалов [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия Автомобильно-дорожного института: научно-производственный сборник. – 2007. – № 1(4). – С. 143–146.

Получена 12.05.2023

Принята 23.05.2023

В. В. ЖЕВАНОВ, В. И. БРАТЧУН, В. А. ПОСТОЕНКО
ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ
ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ИХ СТРУКТУРЫ
 ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
 г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация

Аннотация. Экспериментально доказано, что комплексная модификация структуры асфальтобетона, а именно: поверхностная активация минеральных компонентов и битума асфальтового бетона этиленглицидилакрилатом марки Elvalo-AM позволила повысить усталостную долговечность модифицированных асфальтобетонов (65100 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, рассчитанному по методу СоюзДорНИИ (Н. Н. Иванова и В. В. Охотина).

Ключевые слова: битум, асфальтобетон, модификатор, механоактивация, прочность, усталостная долговечность.

В. В. ЖЕВАНОВ, В. І. БРАТЧУН, В. О. ПОСТОЄНКО
ПІДВИЩЕННЯ ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ
ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСНОЇ ЗМІНИ ЇХ СТРУКТУРИ
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація

Анотація. Експериментально доведено, що комплексна модифікація структури асфальтобетону, а саме: поверхнева активація мінеральних компонентів та бітуму асфальтового бетону етиленгліцидилакрилатом марки Elvaloy-AM дозволила підвищити втомну довговічність модифікованих асфальтобетонів (65 100 циклів порівняно з 22 000 циклів традиційного асфальтобетону (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) при згинальній короткочасній напрузі 0,4 МПа. Показано, що втомні залежності модифікованих асфальтобетонів, побудовані в логарифмічних координатах, мають більш пологий кут нахилу, що свідчить про менший вплив повторних динамічних навантажень на величину залишкових деформацій, порівняно з традиційними і щебенево-мастичними асфальтобетонами (ЩМА). Встановлено, що для забезпечення максимальної втомної довговічності в асфальтобетонах типів А і Б вміст бітуму має бути більше на 0,5 % в порівнянні з оптимальним вмістом органічного вяжучого, розрахованому за методом СоюзДорНИИ (М. М. Іванова і В. В. Охотіна).

Ключові слова: бітум, асфальтобетон, модифікатор, механоактивация, міцність, втомна довговічність.

Жеванов Василий Вячеславович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: комплексно-модифицированные дорожные асфальтобетонные смеси для устройства покрытий нежестких дорожных одежд повышенной долговечности.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: физико-химическая механика дорожных асфальтобетонных.

Постоечко Виолетта Александровна – старший преподаватель кафедры иностранных языков и педагогики высшей школы ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: педагогика, методика преподавания иностранных языков.

Жеванов Василь В'ячеславович – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: комплексно-модифіковані дорожні асфальтобетонні суміші для влаштування покриттів нежорстких дорожніх одягів підвищеної довговічності.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка дорожніх асфальтобетонів.

Постоечко Віолетта Олександрівна – старший викладач кафедри іноземних мов і педагогіки вищої школи ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: педагогіка, методика викладання іноземних мов.

Zhevanov Vasily – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: complex-modified asphalt-concrete road mixes for the device of coatings of non-rigid road clothes of increased durability.

Bratchun Valery – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: physico-chemical mechanics of road asphalt concrete.

Postoyenko Violetta – a senior lectures, Foreign Languages and Higher School Pedagogy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: pedagogy, methods of teaching foreign languages.