

EDN: VIUJMG

UDC 625.046:356.4

ELINA RADYUKOVA, TAMARA ZAGORUIKO, VALERY BRATCHUN
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,
Russian Federation, Donetsk People's Republic, Makeevka

CALCULATION OF THE ROAD SURFACE MADE OF A SOLID ASPHALT-POLYMER-SULPHUR CONCRETE MIXTURE FOR FATIGUE FAILURE IN TENSION BENDING

Abstract. It is shown that the existing network of interurban roads in the Russian Federation with non-rigid road surfaces does not meet the increasing traffic intensity. At the same time, road organizations are moving towards improving the technical level and operational condition of existing roads, as well as the durability of road surfaces. It is established that to increase the durability of non-rigid road surfaces, the design speed of the vehicle, comfort, and safety of movement, it is necessary to use a two-layer structure consisting of a lower layer of solid asphalt-polymer-sulphur concrete mixture and an upper layer of hot coarse-grained asphalt concrete mixture. Using the IRR (Industry Road Regulations) 218.046-01 «Design of Non-rigid Road Surfaces», that is the method of calculating the resistance of monolithic layers to fatigue failure in tension bending, a strength coefficient for the monolithic two-layer structure of the covering is determined, which consists of a solid asphalt-polymer-serobeton mixture (15 cm) and hot coarse-grained asphalt concrete mixture (2 cm). The parameters of the technological temperature regimes during laying and compacting a two-layer asphalt concrete coating are provided. The economic efficiency of the two-layer coating structure is demonstrated, with one layer being a solid asphalt-polymer-sulphur concrete mixture, ensuring the tensile strength and resistance to fatigue failure of the two-layer asphalt concrete coating, while the coarse-grained asphalt concrete provides the specified wheel-to-road surface adhesion coefficient.

Keywords: hot solid asphalt-polymer-serobeton, coarse-grained asphalt concrete, coating strength, long-term stability of the coating, technology of construction of a two-layer non-rigid coating.

PROBLEM STATEMENT

The network of highways has become a crucial element of the state infrastructure in all economically developed countries. In addition, international cooperation and trade between European countries have led to a significant demand for a network of highways and road corridors between countries. The annual volume of goods being transported by roads in the European Union from 2000 to 2020 had increased by 14,5 % with an annual growth rate of 5 % [1]. In EU countries, on average, 77 % of all freight transport is carried out by road.

ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

The existing network of interurban public roads in the Russian Federation, with a length of 1,575,000 km and a density of 64 km per 1 000 km² of territory, does not meet national needs and is unable to provide conditions for the economic and social development of the Russian Federation in the coming years, considering the maintenance of the corresponding transport and operational condition of roads [2]. Currently, in the Russian Federation, the National Project «Safe and Qualitative Roads» is being implemented from 2019 to 2030 in 83 subjects and 104 urban agglomerations in order to bring 60 % of interurban roads and 85 % of the road-street network into compliance with existing regulatory documents. The annual budget funding is 253 billion rubles.

Insufficient operational characteristics of highways lead to a reduction in the operating speeds of vehicles, an increase in fuel and lubricants consumption, and an increase in the transport component in the cost of production. There is a significant part of the road component in the fact that the cost of transportation is 1.5 times higher, and fuel costs are 30 % higher than similar indicators in developed foreign countries. In particular, over the past decade,



there had been a sharp trend towards reducing the inter-repair service life of non-rigid road surfaces of highways. The actual service life of coatings has decreased to 9–12 years, and individual sections deteriorate within 3–5 years [3]. This is due to both the deterioration of the quality of road construction materials and the exhaustion of the resource of their capabilities (the tensile strength of asphalt concrete at 50 °C, $R_{50} = 0,9...1,2$ MPa), as well as the increase in traffic intensity and the mass of vehicles (the intensity of load on the tire protrusions increased from 0,40...0,60 MPa to 0,75...0,90 MPa, without considering the dynamic coefficient) [4].

The main reasons that led to this are the following:

- an increase in the volume of repair work for non-rigid road surfaces that were not carried out in previous years due to insufficient funding;
- low quality of construction and repair work;
- an increase in weight loads from vehicles, an increase in traffic intensity, static and dynamic effects of temporary loads;
- insufficiency of previously existing norms, typical design solutions, and errors in design.

The intensive implementation of modern scientific and technical achievements, the latest technologies and materials will improve the transport and operational condition of highways and contribute to the development of the road network, especially under conditions of limited funding [4].

The aim of the work is to calculate the thickness of the layers of a two-layer monolithic coating subjected to fatigue failure in tension bending.

PRESENTATION OF THE MAIN MATERIAL

According to existing views, the main cause of non-rigid road surface failure is fatigue failure of bitumen-bound layers. The process of destruction before reaching the ultimate state in the form of a grid of cracks in the rolling strip includes three stages:

- accumulation of microcracks in the base of the monolithic layer package;
- propagation of macrocracks in vertical and longitudinal directions with their appearance on the surface of the coating;
- formation of secondary longitudinal cracks where the number of load applications is less than the intersecting longitudinal ones, forming a grid of cracks [3, 4].

During the construction and reconstruction of highways, the lower layer of the coating should be made using elastic materials with high bending strength and a relatively small modulus of elasticity. The bending strength of solid asphalt-polymer-sulphur concrete at 0 °C is 5,6 MPa, of rolled asphalt concrete is 1,5...2,0 MPa, and the modulus of elasticity of solid asphalt concrete at 20 °C is 2 500 MPa. Solid asphalt concrete can resist bending loads without cracking better than traditional materials [5, 6]. However, the surface of solid asphalt concrete coating has a low coefficient of friction with car tires. To increase the coefficient of friction, surface treatment methods are used (bitumen pouring and gravel spreading with compaction), embedding black gravel, and laying asphalt concrete mixture [7, 8]. The first two methods have negative consequences during road operation because gravel particles can detach and damage the rear windows of cars. Laying a coarse-grained mixture allows firmly securing the gravel and partially reinforcing the layer of solid asphalt concrete. As a result, a monolithic coating can be obtained, which takes bending loads in the lower layer and has a high coefficient of friction with the vehicle wheel in the upper layer of the road surface.

When calculating the two-layer monolithic coating, the thickness of the lower layer of solid asphalt-polymer-sulphur concrete mixture [9, 10] was set to 15 cm, and the thickness of the upper layer of coarse-grained asphalt concrete mixture, SMA-5 mixture, was set to 2 cm.

The coating was calculated for the resistance of monolithic layers to fatigue failure in tension bending according to [11]. The road surface construction was transformed into a two-layer model, where the lower layer is a part of the construction located below the asphalt concrete layer package. The modulus of elasticity of the lower layer of the construction was determined according to the nomogram [11] as the overall modulus for the two-layer system $E_n = E_{\text{general}}^{\text{rubble}} = 126$ MPa.

All asphalt concrete layers were attributed to the upper layer.

The modulus of elasticity of the upper layer model was calculated as a weight average according to the formula (1):

$$E_b = \sum_{i=1}^{i=k} E_i h_i : \sum_{i=1}^{i=k} h_i, \quad (1)$$

k is the number of layers in the road surface;

E_i is the modulus of elasticity of the i -th layer, in MPa;

h_i is the thickness of the i -th layer, in centimeters.

$$E_B = \frac{2800 \cdot 2 + 2500 \cdot 15}{17} = 2535 \text{ MPa.}$$

The equivalent modulus of elasticity $\frac{h_B}{D} = \frac{17}{37}$ and $\frac{E_B}{E_u} = \frac{2535}{126} = 20,1$ was determined according to the nomogram [11]. Based on these ratios, it was calculated as $\bar{\sigma}_r = 1,83$ MPa.

The calculated tensile stress was determined by the formula (2):

$$s_r = \bar{\sigma}_r \times p \times k_g, \quad (2)$$

where $\bar{\sigma}_r$ is tensile stress from a unit load at the calculated diameters of the load-bearing platform;
 k_g is the coefficient taking into account the specific stress state of the structure under the paired balloon, 0.850.85;
 p is calculated pressure.

$$s_r = 1,83 \times 0,6 \times 0,85 = 0,99 \text{ MPa} \quad \sigma = 1,83 \times 0,6 \times 0,85 = 0,99 \text{ MPa.}$$

The ultimate tensile stress R_N was found using the formula (3):

$$R_N = R_0 k_1 k_2 (1 - v_R \times t), \quad (3)$$

where R_0 is the normative value of the ultimate tensile strength;

k_1 is the coefficient considering the reduction in the strength of the monolithic coating due to fatigue phenomena under repeated loading;

k_2 is the same, under the influence of weather-climatic factors;

v_R is the coefficient of variation of tensile strength; t is the coefficient of normative deviation.

With $R_0 = 10,0$ for the lower layer of the asphalt concrete package, $v_R = 0,10$; $t = 1,32$ k_1 was determined by the formula (4) [13]:

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}, \quad (4)$$

where $\sum N_p$ is the calculated total number of applications of the calculated load over the service life of the monolithic coating, taking into account the number of calculated days over the service life;

m is the exponent depending on the properties of the material of the calculated monolithic layer;

α is the coefficient considering the difference between real and laboratory conditions of tension by a repeated load, as well as the probability of coincidence in time of the calculated (low) temperature of the coating and the calculated state of the working layer of soil by humidity.

$$k_1 = \frac{5,9}{\sqrt[4,3]{738000}} = 0,255. \quad k_2 = 0,80. \quad R_N = 10,0 \times 0,255 \times 0,80 \times (1 - 0,1 \times 1,32) = 1,75.$$

$$k_{np} = \frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{1,75}{0,99} = 1,77, \text{ which is more than } K_{nc}^{tp} = 0,94.$$

Therefore, the chosen structure meets the strength criteria against fatigue failure of monolithic layers under tensile bending.

The construction technology for road surfaces with simultaneous formation of two layers involves laying the lower and upper layers of coatings from different asphalt concrete mixtures by overlaying one material on the top of another [12, 13]. Key features of this technology include a significant reduction in work time due to the simultaneous laying of two layers of coverage, the ability to lay thin layers of coatings from special higher-quality and more expensive road mixtures, and thus ensuring a monolithic, structurally integral coating due to the absence of gaps between these layers and enhancing the wear resistance of the formed structure.

On a cleaned and subgrade-treated base, a hot cast asphalt polymer concrete mixture with a temperature of 165 °C and a thickness of 15 cm is laid and compacted with a vibratory tamper of an asphalt paver. After cooling the vibrocasting mixture layer to 40 °C, a hot gravel-mastic asphalt concrete mixture with a temperature of 170 °C is

laid and compacted to form a rough thin-layered coating [14]. The bituminous film on the surface of the main layer from the vibratory mixture melts, creating conditions for the monolithization of both layers into a cohesive coating with high transportation and operational characteristics.

After cooling the gravel-mastic mixture to a temperature of 120...130 °C, it is compacted, resulting in a layer with a thickness of 2,0 cm.

The proposed coating is not more expensive than traditional two-layer asphalt concrete coatings due to the use of 30 % sulfur for modifying the binder and a 30 % reduction in bitumen in the cast asphalt polymer concrete mixture with a combined microstructure. Additionally, there is a decrease in bitumen consumption to 7,5...8,0 % due to the use of the vibratory technology (compared to 8,5...10,5 % bitumen in hot cast mixtures laid by gravitational means). When choosing a coating structure, one should not be limited to direct costs, as durability and the quality of the finished structure, as well as operational expenses, are significant factors in assessing economic efficiency.

CONCLUSIONS

Implementing coatings using the proposed technology will bring the technical condition of roads in line with the requirements of Russian Federation regulatory documents. The expected effect is characterized by the improvement of consumer qualities of roads and their service life, along with a reduction in specific material, labor, and financial resource expenditures for road construction and reconstruction.

REFERENCES

1. Гарбе, Волдинг. Полимер-модифицированные битумы – состав и эксплуатационные характеристики / Волдинг Гарбе. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги. – 2008. – № 10. – С. 46-53.
2. Расчет дорожного покрытия из литой асфальтополимерсеробетонной смеси с шероховатой поверхностью на усталостное разрушение от растяжения при изгибе / В. И. Братчун, Н. А. Столярова, В. Л. Беспалов [и др.]. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2009. – Випуск 2009-1(75) Сучасні будівельні матеріали. – С. 3–9.
3. Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд / В. В. Мозговой, А. Е. Мерзликин, Л. А. Мозговая [и др.]. – Текст : непосредственный // Дорожная техника 2007. Каталог-справочник. Технология строительства, реконструкции ремонта и содержания автомобильных дорог. – 2007. – Санкт Петербург : ООО «Славутич». – С. 126–139.
4. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Издательство ООО НПП «Фолиант», 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.
5. ТУ 5718-002-04000633-2006. Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон. Технические условия : взамен ТУ 400-24-158-89* : дата введения 2006-01-01 / Лаборатория дорожного строительства ГУП «НИИМосстрой» (авторы разработки Л. В. Городецкий, А. В. Руденский). – Москва : ГУП «НИИМосстрой», 2007. – 15 с. – Текст : непосредственный.
6. ТУ 5718-002-53737504-01. Смеси сероасфальтобетонные литые и литой сероасфальтобетон : взамен ТУ 5718-002-53737504-01 : дата введения 2011-11-01 / разработаны и внесены Научно-исследовательским институтом материалов и конструкций при Московском автомобильно-дорожном институте – государственном техническом университете (Ю. Э. Васильев; Э. В. Котлярский; Н. Н. Миронов; О. А. Воейко), ООО ВНИИГАЗ (Н. Н. Кисленко; Н. В. Мотин, М. Н. Алехина), ГУП НИИМосстрой (В. Н. Кононов, Л. В. Городецкий, М. И. Клейман) [и др.]. – Москва : Госстандарт России, 2001. – 14 с. – Текст : непосредственный.
7. ТУ 5718-028-04042596-01. Смеси для шероховатого тонкослойного покрытия (ШТП). Технические условия. – Москва : Государственный комитет по стандартизации и метрологии, 2001. – 15 с. – Текст : непосредственный.
8. Патент № 2160337 Российская Федерация, МПК E01C 7/35 (2006.01). Способ устройства шероховатого покрытия на основном слое покрытия из вибролитой асфальтобетонной смеси : №99115143/03 : заявл. 13.07.1999 : опубл. : 10.12.2000 / [Чепурной Ю. В., Шастик С. Б., Мелик-Багдасаров М. С. и др.] – 5 с. – ил. – Текст : непосредственный.
9. Патент № 82922 Україна, МПК C04B 26/26 C08, 95/00, E01C 7/00. Литя асфальтополімерсірбетонна суміш : № 20607364 : заявл. 30.07.2006 : опубл. 10.01.2008 / Братчун В. І., Столярова Н. О., Беспалов В. Л. ; заявник і власник патенту Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – 4 с. – Текст : непосредственный.
10. Бахрах, Г. С. Проектирование жестких дорожных одежд по критерию усталостного растрескивания / Г. С. Бахрах. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли, МАДИ-ГТУ. – 2008. – № 2. – С. 32–34.
11. ПНСТ 265-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование жестких дорожных одежд : национальный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 апреля 2018 г. № 3-пнст : дата введения 2018-11-04 / разработан Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса» (АНО «НИИ ТСК») при участии ООО «НТЦ "ГЕОТЕХНОЛОГИИ"». – Москва : Стандартинформ, 2018. – 77 с. – Текст : непосредственный.

12. Мелик-Багдасаров, М. С. Новое поколение покрытий / М. С. Мелик-Багдасаров, Н. А. Мелик-Багдасарова. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги, 2008. – № 1. – С. 109–111.
13. Литые асфальтобетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, Н. А. Столярова, В. Л. Беспалов [и др.]. – Текст : непосредственный // Вісник автомобільно-дорожного інституту. – 2007. – № 1 (4). – С. 143–146.
14. Братчун, В. И. Исследования колеестойкости щебеночно-мастичных асфальтобетонов, модифицированных этиленглицидилакрилатом марки "Элвалой" / В. И. Братчун, О. А. Пшеничных. – Текст : непосредственный // «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках пятого Международного научного форума ДНР «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие»: материалы V международной научно-практической конференции, Горловка, 22 мая 2019 г. – Горловка : АДИ ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2019. – С. 147–151.

Получена 05.04.2024

Принята 23.04.2024

Э. Л. РАДЮКОВА, Т. И. ЗАГОРУЙКО, В. И. БРАТЧУН
РАСЧЕТ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ЛИТОЙ
АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОННОЙ СМЕСИ НА УСТАЛОСТНОЕ
РАЗРУШЕНИЕ ОТ РАСТЯЖЕНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевка, г. Макеевка

Аннотация. Показано, что существующая сеть внегородских автомобильных дорог Российской Федерации с жесткими дорожными одеждами не обеспечивает возрастающую интенсивность движения автомобилей. В то же время дорожные организации переходят к повышению технического уровня и эксплуатационного состояния существующих дорог, капитальности дорожных одежд. Установлено, что для повышения капитальности жесткой дорожной одежды, расчетной скорости автомобиля, комфорта и безопасности движения необходимо устройство двухслойного покрытия, представленного нижним слоем из литой асфальтополимерсеробетонной смеси и верхним из горячей многощебенистой асфальтобетонной смеси. С использованием ОДН 218.046-01 «Проектирование жестких дорожных одежд» – метода расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе определен коэффициент прочности монолитной двухслойной конструкции покрытия из литой асфальтополимерсеробетонной смеси (15 см) и горячей щебеночно-мастичной ЩМА-5 смеси (2 см). Приведены параметры технологических температурных режимов укладки и уплотнения при строительстве двухслойного асфальтобетонного покрытия. Показана экономическая эффективность устройства двухслойного покрытия, один слой литая асфальтополимерсеробетонная смесь, которая обеспечивает предел прочности на растяжение при изгибе и способность противостоять усталостному разрушению двухслойного асфальтобетонного покрытия, а щебеночно-мастичный асфальтобетон обеспечивает нормируемый коэффициент сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием.

Ключевые слова: горячий литой асфальтополимерсеробетон, щебеночно-мастичный асфальтобетон, прочность покрытия, долговременная устойчивость покрытия, технология строительства двухслойного жесткого покрытия.

Радюкова Элина Львовна – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны повышенной долговечности.

Загоруйко Тамара Ивановна – старший преподаватель кафедры иностранного языка и педагогики высшей школы ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: методика преподавания иностранных языков.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Radyukova Elina – post-graduate, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: complex modified asphalt polymer concretes of increased durability.

Zagoruiko Tamara – Senior Lecturer, of the Department of Foreign Languages and Higher School Pedagogy, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: methodology of teaching foreign languages, pedagogics.

Bratchun Valery – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Department of Highways and Air Fields, FSBEI HE «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 on the basis of modification of organic astringent and complex microstructure modification of concretes; elaboration of effective technologies of processing of technogenous raw material in to the components of compositional materials.