

УДК 691

**МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВИХ
АСФАЛЬТОБЕТОНІВ**

**THE METHODOICAL OF INVESTIGATION OF PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES OF MACADAM-MASTIC
ASPHALT CONCRETES**

**Дробишинець С.Я., к.т.н., доцент, Єрїфаві Тарек ст. гр. АДам-61
(Луцький НТУ, м. Луцьк)**

**Drobyshynets S.Y., Ph.D., associate professor, Erifawi Tarek st. gr.
ADAm -61 (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

У статті проаналізовано переваги застосування щебенево-мастикових асфальтобетонів. Описано способи приготування та контролю якості щебенево-мастикових сумішей. Наведено методики визначення фізико-механічних властивостей асфальтобетонних сумішей відповідно до нормативних документів.

The article analyzes the advantages of using macadam-mastic asphalt concretes. Methods of preparation and quality control of macadam mastic mixes are described. The methods of determining the physical and mechanical properties of asphalt mixes in accordance with the normative documents are given.

Macadam-mastic asphalt concrete is one of the most technologically and durable materials for covering of automobile roads operated under the influence of heavy and intense traffic of vehicles. As a result of the use of macadam-mastic asphalt concrete, the quality of the road surface is improved, its service life is lengthened, repairs are reduced, and traffic safety improves.

Ключові слова: щебенево-мастиковий асфальтобетон, пористість, набухання, водонасиченість, міцність при стиску.

Key words: macadam-mastic asphalt concrete, porosity, swelling, water saturation, compressive strength.

Гарячі щебенево-мастикові суміші (далі - ЩМАС) відносяться до самостійного класу асфальтобетонних сумішей. Багато щебеневої суміші за ДСТУ БВ.2.7-119-2011 містять від 45 до 55% щебених фракцій, ЩМАС – від 70 до 80% маси. В залежності від макрошороховатих високо щебених сумішей відкритого типу за ДСТУ Б В.2.7-127:2015 суміші ЩМА мають підвищений вміст бітуму (від 5,5 до 7,5% за масою) [1,2]. Для того щоб утримати таку кількість гарячого бітуму на поверхні щебеню, необхідно вводити в суміш спеціальні стабілізуючі добавки, наприклад целюлозне волокно або полімерні добавки.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон (далі - ЩМА) є одним із найбільш технологічних і довговічних матеріалів для покриття, у тому числі автомобільних доріг, що експлуатуються під дією важкого і інтенсивного руху транспортних засобів. Застосування такого матеріалу можливе при використанні традиційного обладнання для приготування і укладання ЩМАС. При цьому значно покращується якість улаштування дорожнього покриття, подовжується термін його служби, зменшуються ремонтні роботи, підвищується безпека руху.

Суміші ЩМА виготовляють змішуванням в асфальтобетонних установках в нагрітому стані щебеню із щільних гірських порід кубовидної форми зерен, піску із відсівів подрібнення щільних гірських порід, мінерального порошку і в'язкого нафтового дорожнього бітуму, також полімерно-бітумного в'язучого, взятих в раціонально підбраному співвідношенні з обов'язковим введенням стабілізуючих добавок типу волокон чи полімерів. При використанні полімерно-бітумного в'язучого допускається не вводити в суміш стабілізуючих добавок, якщо забезпечуються вимоги до показників стікання в'язучого та інших показників фізико-механічних властивостей [1,2].

При виготовленні ЩМАС використання кубовидного щебеню сприяє утворенню максимально стійкого мінерального остова з ущільненням шарів покриття. Зсувостійкість покриття з ЩМА, яка характеризує протидію утворенню колій, забезпечує, головним чином, необхідних значень коефіцієнта внутрішнього тертя. Тому в піщаній частині суміші використовують виключно пісок із відсівів подрібнення гірських порід, так як природний пісок знижує коефіцієнт внутрішнього тертя. Крім того, високий вміст крупної фракції кам'яного матеріалу в ЩМАС дозволяє отримати

шороховату поверхню покриття і забезпечити необхідне значення коефіцієнта щеплення коліс автомобіля з покриттям. Велика кількість в'язучого перешкоджає проникненню вологи всередину шару, підвищує стійкість до старіння, водо-морозо-стійкості, тріщиностійкості, і в кінцевому етапі, значно збільшує довговічність покриття.

В залежності від максимального розміру щебеню суміші ЦМА поділяють на такі види: ЦМА-20, ЦМА-15, ЦМА-10, ЦМА-5 з максимальним розміром зерен 20, 15, 10, 5 відповідно [1,2].

Суміші асфальтобетонні щебенево-мастикові повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-127:2015 і виготовлятися у встановленому порядку.

Всі технологічні процеси приготування та влаштування ЦМА необхідно контролювати та фіксувати у робочих журналах виконання робіт.

Контролювання процесів приготування ЦМАС включає: вхідний контроль матеріалів; операційний контроль приготування ЦМАС, приймальний контроль готової ЦМАС.

Для визначення якості щебенево-мастикової суміші досліджують їх фізико-механічні властивості на зразках, що отримані ущільненням сумішей в сталевих формах.

Головним показником при контролі якості приготування сумішей для ЦМА є дотримання проектного складу, особливо вміст бітуму [3,4,5,6].

Методика визначення вмісту в'язучого з врахуванням кількості волокон і зернового складу мінеральної частини ЦМАС. Кількість в'язучого в ЦМАС, суттєво впливає на їх властивості, які значно погіршуються при надлишку чи при малій його кількості. Оскільки, при випалюванні, разом з бітумом, вигоряє і частина волокон, масова частка в'язучого, визначена за різницею мас, буде завищеною, адже при цьому не враховувалась кількість волокон, що вигоріли разом з в'язучим.

Метод передбачає визначення вмісту в'язучого, шляхом випалювання його із ЦМАС з врахуванням кількості волокон, що вигоріли, та зернового складу мінеральної частини.

Засоби контролю та допоміжне обладнання:

- піч муфельна;
- ваги лабораторні 4-го класу;

- лотки керамічні або металеві вогнетривкі;
- щипці.

Для цього беруть два лотки, зважують їх, кладуть в них ЩМАС у кількості по 300-400 г, після чого лотки із ЩМАС знову зважують. Далі лотки з сумішшю ставлять в муфельну піч, температуру в печі доводять до (500 ± 10) °С і витримують при цій температурі 1 год. 30 хв. Після прожарювання лотки виймають щипцями з печі і охолоджують на товстій металевій плиті до кімнатної температури. Після охолодження лотки зважують. Для визначення кількості волокон два лотки зважують, кладуть у них приблизно по 50 г волокон, і випалюють за тією ж технологією, що й ЩМАС.

Масову частку волокон, що вигоріли, обчислюють з точністю до другого десяткового знака за формулою:

$$\Delta g_{\text{в}} = \frac{(M_0 - M_1)}{(M_1 - M)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де M - маса лотка, г;

M_0 - маса лотка з волокнами до випалювання, г;

M_1 - маса лотка з волокнами після випалювання, г.

Масову частку в'язучого $q_{\text{в}}$, %, обчислюють з точністю до другого десяткового знака при дозуванні в'язучого понад 100% мінеральної частини суміші за формулою

$$q_{\text{в}} = \frac{G_1 - (G_2 - \Delta G_{\text{в}})}{(G_2 - \Delta G_{\text{в}}) - G} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де G – маса лотка, г;

G_1 - маса лотка з наважкою ЩМАС до випалювання, г;

G_2 - маса лотка з наважкою ЩМАС після випалювання, г;

$\Delta G_{\text{в}}$ - маса волокон, що вигоріли, г. Визначається за формулою:

$$\Delta G_{\text{в}} = \frac{(G_1 - G) \cdot q_{\text{в}} \cdot \Delta g_{\text{в}}}{1000}, \quad (3)$$

де $q_{\text{в}}$ - масова частка волокон, вказана в рецепті, %;

$\Delta g_{\text{в}}$ - масова частка волокон, що вигоріли, %.

Після випалювання методом розсіювання на контрольних ситах випробовують суху суміш і визначають її зерновий склад.

Другою важливою характеристикою якості приготування сумішей є показник стікання в'язучого з кам'яних матеріалів [3,4,5,6].

Методика визначення стікання в'язучого з ЩМАС. Суть методу полягає в оцінці здатності ЩМАС утримувати бітумне в'язуче і не допускати витікання при її зберіганні в накопичувальних бункерах та при транспортуванні. Перевищення його нормативної величини може призвести до налипання суміші на кузов автомобіля.

Засоби контролю та допоміжне обладнання:

- ваги лабораторні 4 класу;
- стакани хімічні термостійкі місткістю 1000 см³, діаметром 10см.
- скло накривне до стакану;
- термометр хімічний ртутний скляний з градуванням від 100°С до 200 °С та похибкою не більше 1 °С;
- шафа сушильна що підтримує температуру з абсолютною похибкою ± 3 °С.

Приготовлену пробу ЩМАС розігрівають до максимальної температури у відповідності до температури приготування суміші ЩМА яку випробовують та ретельно перемішують.

Сушильну шафу також розігрівають до вказаної температури , яку підтримують в період випробування з допустимою похибкою ±2°С.

Зважують порожній стакан і ставлять його в сушильну шафу для нагрівання на 10 хв. (не менше). Потім стакан встановлюють на ваги, швидко насипають (1000±100) г ЩМАС, накривають чашкою або накривним склом і розмішують на (60±1) хв. в сушильну шафу. Потім стакан виймають з шафи, знімають накривне скло та видаляють ЩМАС з стакану, перевертаючи його, не струшуючи, догори дном на (10±1) с. Після цього стакан охолоджують протягом не менше 10 хв., а потім зважують (разом з залишками в'язучого і ЩМАС на його внутрішній поверхні).

Стікання в'язучого, % за масою, визначають за формулою:

$$B = \frac{g_3 - g_1}{g_2 - g_1} \cdot 100, \quad (4)$$

де g_1, g_2, g_3 - маса стакану відповідно порожнього, з ЩМАС та після її видалення, г.

ЩМАС вважають такою, що витримала випробування, якщо показник стікання в'язучого не перевищує 0,2 %.

Методика визначення залишкової пористості. Суть методу полягає у визначенні об'єму пор, які присутні в ущільненій ЩМАС [3,4].

Засоби контролю та допоміжне обладнання:

- ваги лабораторні 4-го класу точності з пристроєм для гідростатичного зважування;
- колба конічна, колба мірна або пікнометр.

Залишкову пористість лабораторних зразків або зразків з покриття $V_{пор}^o$, % визначають розрахунком на основі попередньо встановлених середньої та дійсної щільності з точністю до першого десяткового знака за формулою:

$$V_{пор}^o = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100, \quad (5)$$

де ρ_m - середня щільність ущільненої суміші, г/см³;

ρ - дійсна щільність суміші, г/см³.

Середню щільність ущільненої суміші визначають гідростатичним зважування середньої щільності зразків, що виготовлені в лабораторії з врахуванням пор, які вони містять. Для цього зразки зважують на повітрі. Потім зразки з сумішшю занурюють на 30 хв. у посудину з водою, яка має температуру (20±2)°С, таким чином, щоб рівень води в посудині був вище поверхні зразків не менше ніж на 20 мм, після того зразки зважують у воді, наглядаючи за тим, щоб на зразках не було бульбашок повітря. Після зважування у воді зразки обтирають м'якою тканиною і повторно зажують на повітрі.

Середню щільність зразка обчислюють за формулою:

$$\rho_m = \frac{g\rho^H}{g_1 - g_2}, \quad (6)$$

де g - маса зразка, який зважений на повітрі, г;

ρ^H - щільності води, яка дорівнює 1 г/м³;

g_1 - маса зразка, який зважений у воді, г;

g_2 - маса зразка, який витриманий протягом 30 хв. У воді і вдруге зважений на повітрі, г.

Дійсну щільність зразків ЩМАС, які відібрано зі змішувача, визначають тільки пікнометричним методом. Для цього зважують чисту і суху колбу. Із підготовленої ЩМАС відбирають середню пробу методом квартування (ЩМАС розподіляють на металевому листі і ділять шпателем на чотири рівні частини, з двох протилежних частин відбирають у колбу не менше ніж 200 г ЩМАС). Колбу із ЩМАС охолоджують до кімнатної температури і зважують. Потім у колбу з ЩМАС наливають дистильовану воду з температурою (20 ± 2) °С у такій кількості, щоб рівень води був вище рівня ЩМА не менше ніж на 3 см. Колбу розміщують на 1 год. У вакуумній установці, де підтримують тиск не більше ніж 2000 Па (15 мм рт.ст.). Після закінчення вказаного часу тиск доводять до атмосферного і в колбу додають 10 мл розчину змочувача для видалення бульбашок повітря з поверхні ЩМА. Коли бульбашки спливають, додають дистильовану воду в колбі до температури (20 ± 2) °С. Рівень води фіксують залежно від виду колби. У мірну колбу воду доливають до мітки. У конічну колбу воду доливають до самого краю горловини, на яку кладуть покривне годинникове скельце так, щоб надлишкова вода витекла, а під скельцем не залишалося бульбашок повітря. Колбу пікнометра, заповнену водою, закривають пробкою, при цьому колбу ретельно обтирають фільтрувальним папером і зважують. Потім колбу звільняють від води і ЩМАС, ретельно промивають, заповнюють дистильованою водою з температурою (20 ± 2) °С так, як вказано вище, і зважують.

Дійсну щільність ЩМАС ρ , г/см³, обчислюють за формулою:

$$\rho = \frac{(g - g_1) \cdot \rho^H}{g - g_1 + g_2 - g_3}, \quad (7)$$

де g - маса колби з ЩМАС, г;

g_1 - маса порожньої колби, г;

g_2 - маса колби з водою, г;

g_3 - маса колби з ЩМАС і водою, г;

ρ^H - щільність, дистильованої води (приймається 1 г/см³).

Методика визначення водонасичення. Суть методу полягає у визначенні кількості води, яку поглинає зразок при заданому режимі насичення. Для сумішей випробовування проводять на зразках, використуваних для визначення середньої густини [3,4,5,6].

Засоби контролю та допоміжне обладнання:

- ваги лабораторні 4-го класу точності з пристосуванням для гідростатичного зважування;
- установка вакуумна;
- пристрій для капілярного водонасичення зразків;
- термометр хімічний ртутний скляний з ціною поділки шкали 1 °С;
- посудина місткістю не менше 3,0 л.

Водонасичення визначають на зразках циліндричної форми. Зразки з сумішей, зважені на повітрі і у воді (так як при попередньому методі), розміщують у посудині з водою з температурою $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Посудину із зразками встановлюють у вакуумній установці, де створюють і підтримують тиск не більше 2000 Па протягом год. Потім тиск доводять до атмосферного і зразки витримують у тій самій посудині з температурою $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ протягом 30 хв. Після цього зразки видаляють з посудини, зважують у воді, обтирають м'якою тканиною і знову зважують на повітрі.

Далі водонасичення визначають за формулою:

$$W = \frac{g_3 - g}{g_2 - g_1} \times 100\%, \quad (8)$$

де g_3 - маса насиченого водою зразка, зваженого на повітрі, г.

Методика визначення набухання.

Набухання визначають, як приріст об'єму зразка після насичення його водою [3,5,6].

Для визначення набухання використовують дані, одержані при визначенні середньої густини і водонасичення.

Набухання зразка H , % за об'ємом визначають за формулою:

$$H = \frac{(g_3 - g_4) - (g_2 - g_1)}{g_2 - g_1} 100\%, \quad (9)$$

де g_4 - маса насиченого водою зразка, зваженого у воді, г.

Методика визначення границі міцності при стисканні. Суть методу полягає у визначенні навантаження, необхідного для руйнування зразка при заданих умовах [3,4,5,6].

Засоби контролю та допоміжне обладнання:

- преси механічні або гідравлічні з навантаженнями від 50 до 100 кН і до 500 кН з силовимірювачами, що забезпечують похибку не більше 2 % навантаження, яке вимірюють;
- термометр хімічний ртутний скляний з ціною поділки шкали 1 °С;
- посудина для термостатування зразків місткістю 3,0 - 8,0 л.

Для випробування готують зразки. Перед випробуванням зразки термостатують при заданій температурі: (50 ± 2) °С, (20 ± 2) °С. Зразки з гарячих сумішей витримують при заданій температурі протягом 1 год. у воді.

Для визначення границі міцності при стисканні зразків у водонасиченому стані використовують зразки, які випробувані відповідно до методики визначення водонасичення. Насичені водою зразки після зважування на повітрі і у воді знову розміщують у воді з температурою (20 ± 2) °С, а перед випробуванням витирають м'якою тканиною або фільтрувальним папером.

Границю міцності при стисканні зразків визначають на пресах при швидкості руху плити преса $(3,0 \pm 0,3)$ мм/хв.

Максимальний показ силовимірювача приймають за руйнівне навантаження.

Границю міцності при стисканні R_{cm} , МПа, обчислюють за формулою:

$$R_{cn} = \frac{P}{F} 10^{-2}, \quad (10)$$

де P – руйнівне навантаження, Н;

F – початкова площа поперечного перерізу зразка, см².

Лабораторні експерименти і безпосередньо спостереження за станом дорожніх покриттів із ЩМАС на дорогах України показали наступні переваги даного покриття в порівнянні з поряд розміщеними ділянками із звичайного асфальтобетону:

- висока стійкість до стирання при дії шипованих шин;
- рівень шуму при русі автомобілів по покритті із ЩМА на 2-4 дБ нижче;
- відсутність водяної плівки і калюж на поверхні в дощову погоду;
- відсутність видимих зон руйнування і шелушіння;
- відсутність колійності на покритті.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон є економічно виправданим за наступними факторами:

- ЩМА укладається більш тонким шаром ніж звичайний асфальтобетон. Якщо товщина шару звичайного асфальтобетону – 35-50 мм, то ЩМА можна укласти товщиною 25-35 мм, що дозволяє зменшити витрату матеріалу на 1 м² до 40 %. Таким чином, вартість 1 м² укладеного шару звичайного асфальтобетону типу А рівна вартості шару ЩМА;
- довговічність дорожнього покриття із ЩМА в 2-3 рази вище;
- вартість обслуговування верхнього шару із ЩМА, в 2 рази нижча вартості звичайного а/б за рахунок стійкості проти колієутворення, утворенню тріщин і великої деформативності.

1. Випробування дорожньо-будівельних матеріалів: Лабораторний практикум /Золотарьов В.О., Браччун В.І, Космін О.В. та інш.; за ред. Золотарьова В.О. Навчальний посібник. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2006. – 352 с.

2. ДСТУ БВ.2.7-119-2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. - К.: Мінрегіон України, 2011.

3. ДСТУ Б В.2.7-127:2015. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. - К.: Мінрегіон України, 2015.

4. ДСТУ Б В.2.7-89-99. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань.

5. ДСТУ Б В.2.7-306:2015. Суміші бітумомінеральні дорожні. Методи випробувань. . - К.: Мінрегіон України, 2015.

6. ДСТУ Б В.2.7-319:2016. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. - К.: Мінрегіон України, 2016.