

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ПРИГОТУВАННЯ ЛИТИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ РІЗНОЇ КОНСИСТЕНЦІЇ

Оксак С.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Розроблено методику визначення зручноукладальності литої асфальтобетонної суміші, визначено температурні режими приготування литих асфальтобетонних сумішей на бітумних в'язучих різної консистенції (традиційному нафтовому дорожньому бітумі з пенетрацією  $P_{25}=85\cdot 0,1$  мм та зіставленому бітумі з пенетрацією  $P_{25}=38\cdot 0,1$  мм).

**Ключові слова:** бітум високов'язкий, лита асфальтобетонна суміш, температура приготування, зручноукладальність, литий асфальтобетон, фізико-механічні властивості.

### Вступ

Литі асфальтобетонні суміші потребують значно більших технологічних температур приготування та укладання, у порівнянні з традиційними гарячими асфальтобетонними сумішами. Це пов'язано з використанням бітумів підвищеної в'язкості, а також забезпеченням основної властивості литих сумішей – здатності розподілятися та ущільнюватися під дією власної ваги. Згідно з вимогами нормативних документів технологічні температури литих асфальтобетонних сумішей при використанні в'язкого нафтового бітуму не повинні перевищувати 230 °С [1], бітуму, модифікованого полімером – 215 °С [2] та синтетичним воском – 230 °С [2].

Температура приготування залежить від консистенції в'язучого, вмісту добавок (полімер, ПАР, синтетичний віск та ін.), кількості мінерального порошку і т.д. Тому для можливості зменшення температури приготування необхідно оцінювати достатню зручноукладальність литої асфальтобетонної суміші, що забезпечить її розподілення та ущільнення в покритті.

### Аналіз публікацій

У випадку призначення температурних режимів виготовлення традиційних гарячих асфальтобетонних сумішей виходять з передумови [3], що критична в'язкість бітуму, за якої може бути забезпечене якісне перемішування і обволікання зерен мінеральних матеріалів, повинна бути не більше 0,5 Па·с.

Досвід роботи з литими асфальтобетонними сумішами показує, що оцінити адекватно їх зручноукладальність на основі тільки в'язкості в'язучого, що застосовується, не є можливим [4].

Для цього необхідно враховувати властивості бінарних систем, тобто асфальтов'язучої речовини. Ця складова литого асфальтобетону (мікроструктура) є основною у формуванні фізико-механічних і реологічних властивостей литих асфальтобетонних сумішей і литих асфальтобетонів. В'язкість асфальтов'язучої речовини залежить не тільки від властивостей в'язучого, але і від природи кам'яного матеріалу, питомої поверхні мінерального порошку, співвідношення кількості бітуму і мінерального порошку (Б/МП), ступеня гомогенізації системи, температури.

Спроба чисельно оцінювати зручноукладальність литих асфальтобетонних сумішей в СРСР закладена ще в кінці 80-х років минулого століття [5], а далі також була внесена і в норми [6]. Принцип визначення зручноукладальності був запропонований за аналогією з цементно-бетонними сумішами, у вигляді визначення здатності литої асфальтобетонної суміші розпливатися під дією власної ваги після вивільнення її з форми у вигляді усіченого конуса (рис. 1).

Температура суміші під час випробування повинна бути 200–210 °С, час осідання конуса – 1 хвилина, величина осідання конуса вимірюється в мм. Цей метод повинен був надати можливість визначення впливу типу та в'язкості в'язучого, різного співвідношення кількості бітуму і мінерального порошку і т.д. на зручноукладальність литих асфальтобетонних сумішей.

Однак за даними [4] вказана методика визначення зручноукладальності литих асфальтобетонних сумішей не є досконалою та не може гарантувати адекватної збіжності й відтворюваності результатів.

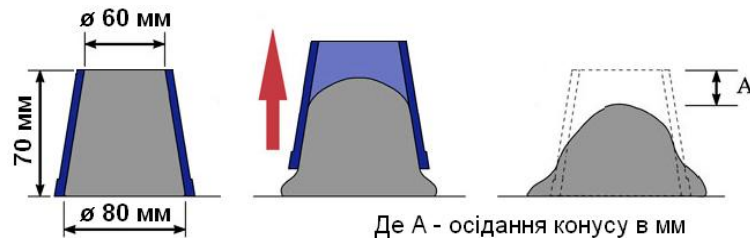


Рис. 1. Визначення зручноукладальності литої асфальтобетонної суміші за осіданням конуса [6]

Високов'язкі бітуми та бітуми, модифіковані різними добавками (полімери, синтетичні воски і т.д.), характеризуються підвищеною когезією та адгезією та, відповідно, не дозволяють провести належне зняття конуса зі зразка суміші. При піднятті конуса відбувається витягування суміші, розрив по бокових поверхнях з налипанням на стінки конуса. Експериментування з температурою конуса і типами антиадгезійних мастил результатів не дає [4].

Для оцінки зручноукладальності литих асфальтобетонних сумішей німецькими дослідниками в [7] було адаптовано методику визначення консистенції розчинів на основі мінеральних в'язучих [8].

Згідно із вказаною методикою, на стандартний струшувальний стіл встановлювалася форма для виготовлення зразків за Маршалом ( $\varnothing 101,6$  мм), заповнена литою асфальтобетонною сумішшю, після чого форма підіймалася і здійснювалися 15 струшувань (1 струшування за секунду). Потім визначався діаметр розпливання суміші, який був встановлений мірою зручноукладальності литої асфальтобетонної суміші. Згідно з результатами досліджень, температура, за якої діаметр розпливання і складав не менше 15,5 см, забезпечує необхідну зручноукладальність литої асфальтобетонної суміші. Цій методиці також притаманний вказаний вище недолік, а саме, налипання суміші на стінки форми при її підйманні.

Оцінку зручноукладальності литих асфальтобетонних сумішей в Чехії здійснюють за часовою залежністю глибини проникнення випробувального стрижня в інтервалі 5–25 с за температури 210–250 °С [9]. Випробування здійснюють за допомогою спеціального пристрою (рис. 2), де суміш витримується за заданої температури і відбувається вільне занурення випробувального стрижня масою 350 г.

У 2011 році в Німеччині розроблено методику визначення в'язкості литої асфальтобетонної суміші за допомогою спеціального

приладу IWS-GVM (рис. 2) [11]. Змішувач складається з трьох встановлених одна над другою пар лопатей – їх розташування протидіє розшаруванню. При цьому нижня пара вичавлює асфальтобетонну суміш вгору, в той час як верхня пара лопатей спрямовує асфальтобетонну суміш вниз.

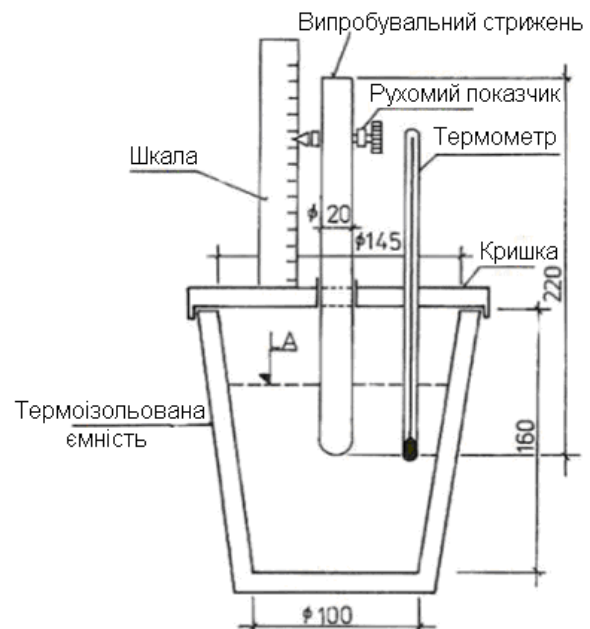


Рис. 2 Випробувальний пристрій для визначення зручноукладальності литої асфальтобетонної суміші [10]

Швидкість обертання становить 25 об/хв. Попередньо нагріта до 240 °С суміш подається в чашу змішувача, де підтримується вказана температура. Перемішування здійснюється протягом 5 хв і фіксується опір суміші. Далі температура поступово знижується до 190 °С та періодично фіксується опір. Встановлено, що прийнятною для вкладання є температура, за якої опір перемішуванню складає не більше  $100 \pm 5$  Нсм.

Однак таке обладнання є досить дорогим і не може використовуватися для оперативного визначення зручноукладальності литої асфальтобетонної суміші.

Найбільш простою для використання є методика визначення зручноукладальності за допомогою осідання конуса, але вона потребує удосконалення для усунення вказаних вище недоліків.

### Мета і постановка задачі

Метою є визначення температурних режимів приготування литих асфальтобетонних сумішей на бітумних в'язучих різної консистенції та дослідження впливу технологічних температур і концентрації в'язучого на фізико-механічні властивості литих асфальтобетонів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити методику визначення зручноукладальності литої асфальтобетонної суміші, визначити температурні режими приготування литих асфальтобетонних сумішей на бітумних в'язучих різної консистенції та дослідити фізико-механічні властивості отриманих литих асфальтобетонів.

### Визначення температурних режимів приготування литих асфальтобетонних сумішей на бітумних в'язучих різної консистенції

Для дослідження властивостей литих асфальтобетонних сумішей взято матеріали та сполуки, що повністю відповідають вимогам [1, 2]. В якості мінеральних складових литих асфальтобетонних сумішей взято: гранітний щебінь 5–10, гранітний відсів, вапняковий мінеральний порошок. Прийнятий склад литої асфальтобетонної суміші містив: 42 % щебеню 5–10, 33 % гранітного відсіву та 25 % вапнякового мінерального порошку.

В якості в'язучих для приготування литих асфальтобетонних сумішей взято: традиційний нафтовий дорожній бітум БНД 70/100

та бітум, який отримано шляхом компаундування традиційного нафтового дорожнього бітуму БНД 70/100 та будівельного бітуму БНБ 90/10. Властивості прийнятих бітумів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Властивості бітумів, взятих для виготовлення литих асфальтобетонних сумішей

№ з/п	Найменування показника	Марка бітуму	
		БНД 70/100	Зіставлений бітум
1	Пенетрація при 25 °С, 0,1 мм 0 °С, 0,1 мм	85	38
		-	13
2	Температура розм'якшеності, °С	47,4	58,1
3	Температура крижкості, °С	-15	-11,5
4	Температура спалаху, °С	295	300
5	Розтяжність при 25 °С, см	> 100	9
6	Інтервал пластичності, °С	62,4	69,6
7	Індекс пенетрації	-0,55	0
8	Еквів'язка температура (0,5 Па·с), °С	146	159,5

В рамках виконаних досліджень запропоновано удосконалену методику визначення зручноукладальності. Для оцінки зручноукладальності литих асфальтобетонних сумішей використовується показник висоти розпливання конуса після витікання на приладі, схему якого наведено на рис. 3.

Суміш витримується в конусі приладу за встановленої температури (180–240 °С), після чого відкривається нижній отвір конуса, що дозволяє суміші витікати під дією власної ваги. Час витікання та розпливання суміші становить 60 с. Після чого визначається висота суміші після розпливання. Температура суміші під час випробування підтримується постійною.

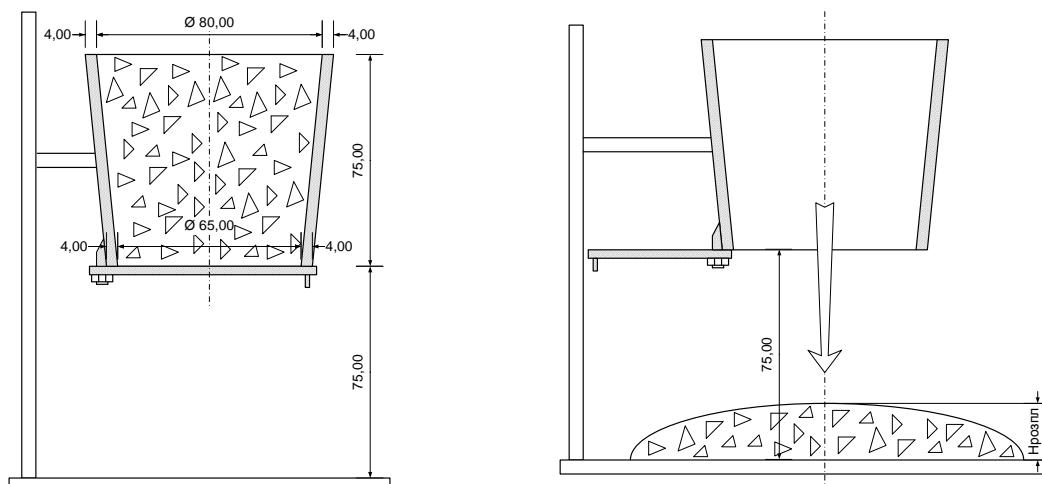


Рис. 3. Прилад оцінки зручноукладальності за висотою розпливання литої суміші

Зручноукладальність литих асфальтобетонних сумішей залежить від температури, консистенції в'язучого, його вмісту та кількості найбільш активного структуруючого компонента – мінерального порошку. Для дослідження такого впливу було досліджено залежність висоти після розпливання від консистенції та вмісту бітуму і температури випробування (табл. 2).

Таблиця 2 – Оцінка зручноукладальності литих асфальтобетонних сумішей

Бітум	Вміст бітуму, %	Температура, °С	Висота після розпливання, мм
Зіставлений бітум	9,5	200	40
		180	-
	10	190	45
		200	28
		220	22
		240	18
10,5	200	25	
БНД 70/100	10	200	17

Отримані дані вказують, що температура має суттєвий вплив на зручноукладальність суміші. За температури 180 °С суміш залишилася в конусі, тобто зручноукладальність була майже відсутня. Відповідно використання еквів'язкої температури, що відповідає в'язкості бітуму 0,5 Па·с, для призначення температури приготування литих асфальтобетонних сумішей не доцільне. Найбільш інтенсивне зменшення висоти спостерігається за збільшення температури з 190 до 200 °С (на 17 мм); подальше підвищення температури до 240 °С призводить до менш суттєвого зниження висоти після розпливання (на 10 мм). Збільшення вмісту бітуму від 9,5 до 10,5 % підвищує зручноукладальність асфальтобетонної суміші при 200 °С (зменшення висоти розпливання становить 15 мм). Однак покращення зручноукладальності литої ас-

фальтобетонної суміші за рахунок збільшення вмісту бітуму супроводжується збільшенням вартості такого матеріалу та підвищенням деформативності.

Консистенція бітуму майже не впливає на фізичні властивості литого асфальтобетону (табл. 3), але має суттєвий вплив на його механічні властивості. За збільшення в'язкості бітуму, що застосовується під час приготування литих асфальтобетонних сумішей, міцність на стиск литого асфальтобетону при 20 °С підвищується, а глибина вдавлювання штампю зменшується. Так, при застосуванні бітуму з пенетрацією при 25 °С 38·0,1 мм проти 85·0,1 мм міцність на стиск при 20 °С збільшується з 2,12 МПа до 4,20 МПа, а глибина вдавлювання штампю при 40 °С зменшується з 14,03 до 3,36 мм.

Температура приготування литої асфальтобетонної суміші суттєво впливає на властивості литого асфальтобетону (табл. 3). Збільшення температури приготування зі 190 до 220 °С приводить до прогнозованого зменшення залишкової пористості за рахунок кращого розподілення бітуму та формування більш щільної структури литого асфальтобетону. Покращення показників механічних властивостей також може бути наслідком зменшення залишкової пористості, а також змін самого бітуму (старіння) за більш високих технологічних температур. Більш чутливим показником також є глибина вдавлювання штампю.

Згідно з вимогами [2] глибина вдавлювання штампю для литих асфальтобетонів на бітумах з добавками полімерів або синтетичних восків повинна бути в межах 1–3,5 мм. Таким чином, асфальтобетон приготований при 190 °С не відповідає вказаним нормам. Застосування для виготовлення литих асфальтобетонів бітуму БНД 60/90 не дозволяє отримати матеріал з необхідною деформативною стійкістю (ГВШ 14,03 мм).

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості литих асфальтобетонів (вміст бітуму – 10 %)

Бітум	Температура приготування, °С	Середня густина, г/см <sup>3</sup>	Пористість мінерального кістяка, %	Залишкова пористість асфальтобетону, %	Водонасичення, %	Межа міцності на стиск при 20 °С, МПа	Глибина вдавлювання штампю 5 см <sup>2</sup> за температури 40 °С після 30 хв дії навантаження, мм	Приріст глибини вдавлювання штампю 5 см <sup>2</sup> за температури 40 °С після 30 хв дії навантаження, мм
Зіставлений бітум	190	2,32	22,23	2,27	0,16	4,00	3,85	0,65
	200	2,34	21,60	1,47	0,10	4,20	3,36	0,56
	220	2,35	21,36	1,18	0,03	4,38	2,68	0,42
БНД 60/90	200	2,32	22,33	1,28	0,09	2,12	14,03	2,61

Литий асфальтобетон, отриманий з литої асфальтобетонної суміші при 220 °С, характеризується найбільш жорсткою структурою (найменший показник ГВШ). Однак за показником зручноукладальності достатньою температурою приготування є 200 °С; крім того, нагрівання від 200 до 220 °С потребує значної витрати енергоресурсів та буде супроводжуватися посиленням технологічного старіння бітуму у складі асфальтобетонної суміші.

### Висновки

1. Застосування температури, що відповідає в'язкості бітуму 0,5 Па·с, ( $T_{0,5}$ ) для призначення технологічних температур виготовлення литих асфальтобетонних сумішей не доцільне, бо не дозволяє забезпечити достатньої зручноукладальності сумішей, необхідної під час приготування та укладання в покриття.

2. Виробництво литих асфальтобетонних сумішей здійснюється за високих технологічних температур (200–240 °С), що супроводжується значною витратою енергоресурсів.

3. Знизити технологічну температуру можна до допустимої межі зручноукладальності литої асфальтобетонної суміші, що забезпечить її розподілення та ущільнення під час укладання. Для оцінки зручноукладальності можливе застосування показника висоти після розпливання.

4. Зручноукладальність литої асфальтобетонної суміші покращується за зниження в'язкості бітуму, збільшення його вмісту та підвищення технологічних температур. Однак ці фактори призводять до збільшення вартості литого асфальтобетону, посилення старіння бітуму та збільшення деформативності.

5. Достатньою зручноукладальністю характеризуються литі асфальтобетонні суміші, які мають висоту шару після розпливання менше 30 мм.

### Література

1. Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Частина 6. Литий асфальтобетон: ДСТУ EN 13108-6:2018 (EN 13108-6:2016, IDT). – [Чинний від 01.07.2019]. К. ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 38 с. – (Національний стандарт України).
2. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетони литі. Технічні умови: СОУ 42.1-37641918-106:2013. – [Чинний від 2013-11-01]. К. Державна служба автомобільних доріг України, 2013. – 10 с. – (Стандарт організації України).

3. Никишина М.Ф. Исследование вязкости дорожных битумов / Никишина М.Ф. // *Труды ДорНИИ*. – М.: Дориздат, 1949 – Вып VII. – С. 38-58.
4. Покровский А.В. Температура, вязкость, удобоукладываемость / А.В. Покровский // *Автомобильные дороги*. – 2012. – № 5. – С. 56-59.
5. Технические условия ТУ 400-24-158-89\*. Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон - М.: Госнаб РФ, 1989. - 15 с.
6. Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон: ТУ 5718-002-04000633-2006. [Дата введения 2006-01-01]. М. НИИМосстрой, 2007. – 18 с. (Технические условия).
7. Sikinger T. Prüfung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt / T. Sikinger, N. Simmleit // *Bitumen*. – Heft 4, 2001. P. 27-29.
8. DIN 18555 Teil 2. Prüfung von Morteln mit Mineralischen Bindemitteln; Frishmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rochdichte und des Luftgehalts. 1982. Deutsches Institut für Normung e.V. 4 p.
9. Mondschein P. Laboratory assessment of new technical solutions for mastic asphalt with reduced mixing temperature / P. Mondschein, K. Miláčková, L. Soukupová, J. Valentin, P. Bureš, J. Kašpar // *E&E Congress 2016, 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. 1-3 June 2016. – Prague, Czech Republic. – P. 101-110.
10. TP 238 Předběžné technické podmínky, Nízokoteplotní asfaltové směsi (NTAS), Ministerstvo dopravy. Odbor pozemních komunikací. – Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2011. – 29 s.
11. Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt: M TA. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen. Köln – Ausg. 2011 (Deutsch). – 22 s.

### References

1. Bitumomineralni sumishi. Tekhnichni umovy. Chastyna 6. Lytyi asfaltobeton. [Bituminous mixtures - Material specifications - Part 6: Mastic Asphalt]. (2018). *DSTU EN 13108-6:2018 from 1<sup>st</sup> July 2019*. Kyiv: SE «UkrNDNC» [in Ukrainian].
2. Sumishi asfaltobetonni ta asfaltobetonny lyti. Tekhnichni umovy. [Construction Materials. Mixes are asphalt concrete and mastic asphalt concrete. Technical specifications]. (2013). *SOU 42.1-37641918-106:2013 from 1<sup>st</sup> November 2013*. Kyiv: Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorih Ukrainy [in Ukrainian].
3. Nikishina M.F. (1949). Issledovanie vjazkosti dorozhnyh bitumov [Investigation of road bitumen viscosity]. *Trudy DorNII*, Vyp. VII, 38-58. [in Russian].
4. Pokrovskij A.V. (2012). Temperatura, vjazkost', udoboukladyvaemost'. [Temperature, viscosity, workability]. *Avtomobil'nye dorogi*, 5, 56-59. [in Russian].

5. Smesi asfal'tobetonnye litye i litoj asfal'tobeton [Mastic asphalt mixes and mastic asphalt concrete]. (1989). TU 400-24-158-89\* from 1<sup>st</sup> January 1990. Moskva: Gosstnab RF [in Russian].
6. Smesi asfal'tobetonnye litye i litoj asfal'tobeton [Mastic asphalt mixes and mastic asphalt concrete]. (2007). TU 5718-002-04000633-2006 from 1<sup>st</sup> January 2006. Moskva: NI-IMosstroj [in Russian].
7. Sikinger T. Prüfung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt / T. Sikinger, N. Simmleit // *Bitumen*. – Heft 4, 2001. P. 27-29.
8. DIN 18555 Teil 2. Prüfung von Morteln mit Mineralischen Bindemitteln; Frishmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehalts. 1982. Deutsches Institut für Normung e.V. 4 p.
9. Mondschein P. Laboratory assessment of new technical solutions for mastic asphalt with reduced mixing temperature / P. Mondschein, K. Miláčková, L. Soukupová, J. Valentin, P. Bureš, J. Kašpar // E&E Congress 2016, 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 1-3 June 2016. – Prague, Czech Republic. – P. 101-110.
10. TP 238 Předběžné technické podmínky, Nízkotepelní asfaltové směsi (NTAS), Ministerstvo dopravy. Odbor pozemních komunikací. – Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2011. – 29 s.
11. Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt: M TA. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen. Köln – Ausg. 2011 (Deutsch). – 22 s.

**Оксак Сергій Володимирович**, к.т.н., доц. каф. технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії ім. М.І. Волкова, sv.oksak@gmail.com, тел. +38 066-715-27-52, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

#### **Determination of temperature regimes of producing of mastic asphalt concrete mixtures on bitumen binders of different consistency**

**Abstract. Problem.** *The temperature of mastic asphalt mixing is significantly higher than the one for hot asphalt mixtures. It is due using of high viscous*

*bitumens as a mixture component and realizing the main advantage of mastic asphalt – its ability to flow and compact with its own weight at high temperature. There is no uniform way to assign the process temperatures for mastic asphalt. Goal.* *To find the process temperatures for mastic asphalt with bitumen binders differ by viscosity as a researching on temperature influence and influence of binder concentration on properties of mastic asphalt is a goal of this research work. Methodology.* *The mastic asphalt mixtures and asphalt concrete with conventional pavement bitumen 70/100 (penetration is 85 dmm) and high viscous bitumen (penetration is 38 dmm) are chosen for research. The mineral aggregates contain 42 % of crushed granite 5-10 mm, 33 % of granite screening and 33 % of limestone powder. The properties of mastic asphalt are evaluated with EN 12697-20:2003, SOU 42.1-37641918-106:2013 and DSTU EN 13108-6:2018. Results.* *It was found a significant influence of amount and viscosity of bitumen and a temperature on workability of mastic asphalt mixture and on properties of mastic asphalt concrete. Originality.* *The comparative analysis of workability of mastic asphalt mixture and properties of mastic asphalt concrete with bitumens differ in viscosity is a scientific originality of presented research. Practical value.* *Due to research results it is not reasonable to assign the temperature that supplies viscosity of 0.5 Pa•s as a temperature of mixing of mastic asphalt. The temperature conditions of mastic asphalt mixing are much higher (200 – 240 °C). To evaluate workability and find a minimal acceptable temperature of mixture it is possible to use the thickness of the mixture layer after spreading as an indicator. With this the acceptable workability of the mastic asphalt mixture can be characterized by thickness of its layer 30 mm or less after spreading.*

**Key words:** *high viscous bitumen, mastic asphalt concrete mixture, producing temperature, workability, mastic asphalt concrete, physical and mechanical properties.*

**Oksak Serhii**, Ph.D. (Eng.), Assoc. Prof. Department of technologies of road-building materials and chemistry, sv.oksak@gmail.com, тел. +38 066-715-27-52, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.