

© Я. І. Пиріг, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник кафедри ТДБМ,  
ORCID: 0000-0003-0957-2251,  
e-mail: pirig2000@gmail.com;  
© С. В. Оксак, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри ТДБМ,  
ORCID: 0000-0002-3084-3469,  
e-mail: sv.oksak@gmail.com;  
© Я. В. Ільїн, канд. техн. наук, доцент кафедри ТДБМ,  
ORCID: 0000-0003-2998-3955,  
e-mail: yailin12011993@gmail.com;  
© С. О. Місніченко, аспірант кафедри ТДБМ,  
ORCID: 0009-0004-1697-9249,  
e-mail: smisnichienko2@ukr.net  
(Харківський національний автомобільно-дорожній університету)

© Yan Pyrig, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow,  
Senior Research Fellow of the Department,  
ORCID: 0000-0003-0957-2251,  
e-mail: pirig2000@gmail.com;  
© Serhii Oksak, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department,  
ORCID: 0000-0002-3084-3469,  
e-mail: sv.oksak@gmail.com;  
© Iaroslav Ilin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department,  
ORCID: 0000-0003-2998-3955,  
e-mail: yailin12011993@gmail.com;  
© Serhii Misnichenko, Postgraduate,  
ORCID: 0009-0004-1697-9249,  
e-mail: smisnichienko2@ukr.net  
(Kharkiv National Automobile and Highway University)

## ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ ЛИТИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ, ВИЗНАЧЕНОЇ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

### EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PLASTICITY OF MASTIC ASPHALT MIXTURES, DETERMINED BY DIFFERENT METHODS

**Анотація.** Розглянуто особливості литих асфальтобетонних сумішей і литих асфальтобетонів та методів, що застосовують для оцінювання їхньої якості. Наведено класифікацію методів оцінювання технологічної пластичності литих асфальтобетонних сумішей. Представлені результати лабораторного оцінювання технологічної пластичності литих асфальтобетонних сумішей за допомогою: методу Люєра; методу, що ґрунтується на встановленні глибини занурювання випробувального стрижня; методу, що ґрунтується на визначенні розтікання суміші під власною вагою та методу, що ґрунтується на встановленні крутного моменту під час перемішування суміші. Розглянуто особливості прийнятих у роботі методів, оцінено їхні переваги та недоліки та співставленні значення технологічної пластичності, визначеної різними методами.

**Ключові слова:** литий асфальтобетон, лита асфальтобетонна суміш, пластичність, методи, метод Люєра.

**Abstract.** Mastic asphalt concrete is a type of traditional hot asphalt concrete, which, due to the peculiarities of its composition, is characterised by increased technological plasticity and the possibility of laying in the road surface without compaction. The paper considers the features of quality indicators used to assess the properties of mastic asphalt mixtures and asphalt concrete. A classification of methods for assessing the technological plasticity of mastic asphalt mixtures is given. The results of laboratory assessment of the technological plasticity of mastic asphalt mixtures are presented using: the Luer method; the method based on determining the depth of immersion of the test rod; the method based on determining the spreading of the mixture under its own weight and the method based on determining the torque during mixing of the mixture. The features of the methods used in the work are considered, their advantages and disadvantages are evaluated. Based on the analysis of data from literature and regulatory sources, criteria for assessing the plasticity of mastic mixtures determined by the methods used in this work were adopted. Based on the experimentally obtained results of assessing the technological plasticity determined by different methods, the closeness of the obtained plasticity values was established, which may indicate the interchangeability of the considered methods for assessing the quality of mastic asphalt mixtures. Taking into account the peculiarities of the methods used in the work and their advantages, in order to select an acceptable method for assessing the technological plasticity of mastic mixtures and its further standardisation in the domestic road industry, it is proposed to use the Luer method for operational control of the quality of mastic mixtures at the plant and the method based on the determination of torque for selecting the composition of mixtures and establishing the optimal temperature conditions for the preparation of mastic mixtures.

**Keywords:** mastic asphalt concrete, mastic asphalt mix, plasticity, methods, Luer method.

## Вступ

Литий асфальтобетон є найдавнішим матеріалом, який застосовують у дорожньому, промисловому та цивільному будівництві. До переваг цього різновиду гарячих асфальтобетонів можна віднести: низьку пористість та високу щільність; водонепроникність; підвищену корозійну стійкість, а також морозо- та зносостійкість; міцність, порівняну з традиційними гарячими асфальтобетонами; довговічність. Основною перевагою є висока пластичність та відсутність необхідності ущільнення литої асфальтобетонної суміші під час її укладання в дорожнє покриття.

Переваги литого асфальтобетону великою мірою обумовлені його складом: значною кількістю мінерального порошку (20–30 %), відносно високим вмістом високов'язкого бітумного в'язучого (7–10 %), підвищеною кількістю природного піску або відсіву (25–35 %) та відносно низькою кількістю щебню (30–45 %) [1, 2]. Через такі особливості складу для оцінювання властивостей литих сумішей та асфальтобетонів необхідно застосовувати спеціальні показники якості, оскільки стандартні показники, що використовують для оцінювання традиційних гарячих асфальтобетонів, є не придатними або малоінформативними: водонасичення майже відсутнє; залишкова пористість не перевищує 1 ... 2 %; завдяки підвищеній пластичності часто неможливо встановити значення міцності на стиск, особливо за підвищених експлуатаційних температур, оскільки відсутній чітко виражений максимум руйнувального навантаження.

Спеціальним показником, що повною мірою характеризує якість як литої асфальтобетонної суміші, так і литого асфальтобетону, є пластичність (технологічна та експлуатаційна) [2, 3]. Технологічна пластичність литих сумішей характеризує їхню рухомість під час укладання в покриття (зручнукладальність). Експлуатаційна пластичність литого асфальтобетону – опір дорожнього покриття деформаціям від руху автомобільного транспорту.

На сьогодні єдиним стандартизованим показником експлуатаційної пластичності литих асфальтобетонів, що широко використовують в усіх країнах (де застосовують цей тип асфальтобетону), є глибина вдавлювання штампу (додатково визначають показник збільшення глибини вдавлювання штампу після 30 хв дії

навантаги) [1–3]. Як правило, оцінювання експлуатаційної пластичності литого асфальтобетону визначають за + 40 °С, а її нормовані значення, зазвичай, не перевищують 3,5 мм для крупнозернистих асфальтобетонів (найбільший розмір зерен кам'яного матеріалу – 8 (10) мм –16 (15) мм) та 5,0 мм для дрібнозернистих асфальтобетонів (найбільший розмір зерен – 5 мм).

Технологічна пластичність – це один із основних показників, значення якого необхідно враховувати під час підбору складу литих сумішей, та основний показник для вибору температури їх приготування і укладання в покриття, оскільки даний показник відображає здатність матеріалу розтікатися під власною вагою у певному діапазоні температур, що є важливим для якісного укладання та досягнення міцності покриття.

Експлуатаційна пластичність литих асфальтобетонів та технологічна пластичність литих асфальтобетонних сумішей є взаємопов'язаними показниками, що характеризуються антагоністичним типом зв'язку – підвищена технологічна пластичність литих сумішей, як правило, призводить до погіршення експлуатаційної пластичності та навпаки. Ці два показники повинні бути нормованими та їх необхідно враховувати під час проектування складу литих асфальтобетонних сумішей, зокрема для встановлення оптимальної кількості бітумного в'язучого, та призначення оптимальної технологічної температури укладання сумішей в дорожнє покриття.

На відміну від експлуатаційної пластичності литих асфальтобетонів, єдиного загальноприйнятого методу оцінювання технологічної пластичності литих сумішей на даний час не існує та в багатьох країнах (в тому числі і в Україні) цей показник не визначають і, відповідно, не нормують. Незважаючи на це, на даний час є відомими певна кількість методів визначення технологічної пластичності литих сумішей, які можуть бути умовно розподілені на три групи:

- методи, що ґрунтуються на визначенні часу занурення випробувального пристрою в нагріту до технологічної температури суміш;
- методи, що ґрунтуються на визначенні діаметра розтікання під власною вагою нагрітої до технологічної температури литої суміші;
- методи, що ґрунтуються на встановленні

крутного моменту мішалки під час перемішування литої асфальтобетонної суміші, нагрітої до технологічної температури.

Методи першої групи є найпростішими в методологічному плані і не потребують складного лабораторного обладнання, що є їхньою значною перевагою. Загальний принцип цих методів, який полягає у встановленні глибини занурення випробувального штоку за нормований час або часу занурення штоку на нормовану глибину, було запропоновано на початку минулого століття. До цієї групи можна віднести метод Риб'єва А. І., консистометр Хетчинсона, метод Люєра та інші.

На сьогодні в країнах Східної Азії широке застосування отримав метод Люєра (Lueer fluidity test), методика випробування якого полягає у визначенні часу занурення в литу суміш латунного штоку ( $\varnothing$  10 мм,  $l$  = 27 см) з молотком краплеподібної форми, загальною вагою 995 г. За показник плинності Люєра приймають час, за який шток зануриться в суміш на глибину від нижньої до верхньої риски, розташовані на штоку на відстані 50 мм одна від одної.

Залежно від мети визначення технічної пластичності методика визначення показника плинності Люєра може різнитися:

- у разі операційного контролю якості пластичності випробування здійснюють лише за 240 °С (прийнятною є пластичність, за якої значення показника плинності Люєра не перевищує 20 с);

- якщо ж визначають оптимальну кількість бітумного в'язучого у складі литої суміші чи призначають оптимальні температурні межі виготовлення та укладання сумішей у дорожнє покриття випробування здійснюють у температурному діапазоні від 200 °С до 260 °С (в цьому випадку орієнтуються на значення показника плинності Люєра в межах від 10 с до 20 с) [3, 4].

До переваг цього методу можна віднести: простоту обладнання; малий час випробування; існування експериментально доведених залежностей між показником плинності та іншими стандартними показниками якості литих сумішей [3–5]. Недоліками методу є значний обсяг суміші, потрібний для проведення випробування (понад 10 кг) та швидке її охолодження, що впливає на точність отримуваних результатів.

Методи другої групи ґрунтуються на принципі розтікання литої асфальтобетонної суміші під власною вагою, запозичений із методу осідання конусу цементобетонної суміші (slump test) – його запропонував Д. Абрамс іще на початку минулого століття [6].

На відміну від інших цей метод – єдиний стандартизований у вітчизняній дорожній галузі (МР В.2.7-37641918-897 [7]). Як показник пластичності використовують діаметр або висоту шару литої суміші після її розтікання впродовж певного часу (60 с, 90 с або інше). Критерієм, прийнятим у вітчизняних нормативних документах [7], була висота шару суміші після її розтікання впродовж 60 с, яка повинна бути меншою за 25 мм.

Випробування зазвичай здійснюють у широкому температурному діапазоні, межі якого залежать від складу суміші, кількості бітумного в'язучого та відсутності налипання суміші на стінки обладнання, що здебільшого можна спостерігати за відносно низьких технологічних температур.

Значними перевагами методів цієї групи є: простота конструкції обладнання; малий час випробування; відносно малий обсяг суміші, необхідний для випробування. Основним недоліком, через які методи цієї групи мають обмежене використання, є значне налипання суміші на стінки приладу або розрив суцільності суміші впродовж процесу витікання, що призводить до суттєвих похибок у визначенні пластичності або до неможливості її визначення взагалі.

Найбільш сучасними, інформативними і точними є методи третьої групи, принцип яких полягає у встановленні крутного моменту лопатей мішалки під час її обертання в обсязі асфальтобетонної суміші. Їх запропонували у 1978 р. дослідники J. Marvillet та R. Bougault [8]. Нині існує значна кількість різноманітних методів оцінювання пластичності (workability) асфальтобетонних сумішей різних видів та типів, що відрізняються конструкцією та розмірами лопатей мішалок, швидкістю обертання мішалки, використанням датчиків, які під час випробування визначають швидкість остигання суміші на поверхні та в обсязі тощо [9–12]. На відміну від методів, що можна віднести до першої та другої груп, особливістю методів визначення пластичності шляхом встановлення крутного моменту мішалки є те, що ви-

пробування розпочинають на суміші з максимально можливою температурою, яка в ході випробування поступово знижується. А тому є можливим оцінити не тільки пластичність суміші, а й динаміку зниження температури асфальтобетонної суміші.

Усім методам цієї групи притаманні такі переваги: висока точність отримуваних результатів; автоматизація та комп'ютеризація процесу оцінювання пластичності; висока чутливість до гранулометричного складу суміші, кількості та реологічного типу бітумного в'язучого, технологічної температури та інше. Деякі сучасні модифікації приладів цієї групи дозволяють оцінювати пластичність суміші, починаючи з моменту її виготовлення безпосередньо у випробувальному пристрої. До недоліків методів цієї групи можна віднести: високу вартість та складність випробувального обладнання; обмеженість сфери застосування максимальною крупністю зерен кам'яного матеріалу 10 мм.

На кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів (ТДБМ) Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) на замовлення Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України здійснено розробку національного стандарту «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон. Технічні умови. Литі суміші», який перебуває на редагуванні в Національному органі стандартизації. Під час розробки цього нормативного документу постало питання щодо нормування показника технологічної пластичності. Однак через відсутність стандартизованого методу, який би забезпечував об'єктивне визначення цього показника з високою точністю, його нормування було відкладено.

Враховуючи існування певної кількості різноманітних за принципом дії методів визначення технологічної пластичності литих асфальтобетонних сумішей, актуальним є питання вибору найбільш прийнятних для вітчизняної дорожньої галузі та встановлення взаємозв'язку між значеннями технологічної пластичності, визначеної різними методами.

### **Методи встановлення технологічної пластичності, прийняті в дослідженні**

На основі аналізу даних з літературних джерел щодо відомих на сьогодні методів визначення пластичності литих асфальтобетонних

сумішей було обрано чотири методи: метод плинності Люєра, як один із найбільш поширених методів (метод А); чеський метод, що є аналогом методу плинності Люєра (стандартизовано в Чехії [13]), але позбавлений низки його недоліків (метод Б); метод, що ґрунтується на визначенні показника розтікання суміші під власною вагою, як такий, що використовували у вітчизняній практиці (метод В); метод, що ґрунтується на встановленні крутного моменту мішалки (метод Г).

На кафедрі ТБДМ ХНАДУ було виготовлено відповідні прилади, зовнішній вигляд яких представлено на **рис. 1**.

Для оцінювання технологічної пластичності було прийнято литу асфальтобетонну суміш типу ЛАБС-10, гранулометричний склад якої підібрано згідно з вимогами проєкту ДСТУ «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон. Технічні умови. Частина 6. Литі суміші». Вихідні матеріали для приготування суміші:

- дорожній бітум БНД 35/50 (пенетрація за 25 °С – 41 × 0,1 мм, температура розм'якшення – 52,2 °С),

- гранітні кам'яні матеріали зі Шматковського кар'єру.

Кількість бітуму приймалась 9%, 10% та 11%. Стандартні показники якості прийнятого в дослідженні литого асфальтобетону представлені в **табл. 1**.

Методики визначення пластичності литої суміші охоплювали такі етапи:

- 1) підготовка суміші згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-319 [14];

- 2) нагрів до технологічної температури (за початкову прийнято температуру 200 °С) литої суміші та випробувального обладнання (металеві ємності з сумішшю; випробувальні штоки тощо);

- 3) завантаження суміші в ємність випробувального обладнання;

- 4) проведення випробування:

- у методі А – визначення часу занурення випробувального штоку на глибину 50 мм (від нижньої до верхньої мітки, що нанесені на штоку);

- у методі Б – визначення глибини занурення випробувального штоку за 30 с (кожні 5 с фіксують глибину);

- у методі В – встановлення висоти розпливу конусу з суміші, що витікала з ємності впродовж 60 с;

- у методі Г – визначення крутного моменту

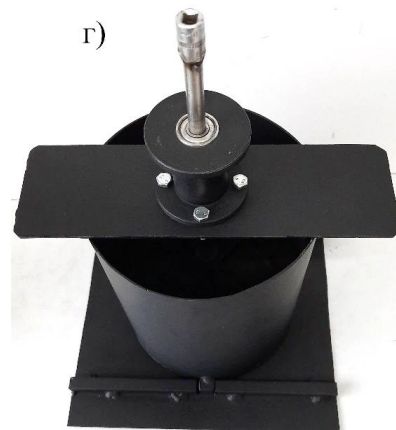
під час обертання валу з лопатями;

5) вивантаження суміші та очищення металевих ємностей;

б) нагрів до іншої технологічної температури, яка залежно від результатів випробування може бути збільшена або знижена на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  та випробування за цієї температури.

Винятком із цього порядку є випробування

за методом Г, відповідно до якого суміш нагрівали до максимальної технологічної температури та здійснювали визначення крутного моменту. Форму з сумішшю витримували за температури навколишнього повітря з постійної періодичністю перемішуючи суміш та перевіряючи її температуру. За зниження температури на  $\approx 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  повторювали визначення крутного моменту.



**Рис. 1.** Зовнішній вигляд обладнання: а – прилад для визначення плинності Люєра (метод А), б – прилад для визначення пластичності, що ґрунтується на глибині занурення випробувального стрижня (метод Б), в – прилад для визначення пластичності, що ґрунтується на встановленні показника розтікання (метод В), г – прилад для визначення пластичності, що ґрунтується на визначенні крутного моменту (метод Г)

Таблиця 1

## Стандартні показники якості литих асфальтобетонів, прийнятих в дослідженні

Кількість бітуму, %	Температура виготовлення, °С	Середня густина асфальтобетону, г/см <sup>3</sup>	Дійсна густина асфальтобетону, г/см <sup>3</sup>	Залишкова пористість, %	Глибина вдавлення штампку за 40 °С, мм	Збільшення глибини вдавлення штампку, мм
9	210	2,341	2,399	2,45	2,57	0,28
	220	2,351		2,01	2,56	0,32
	230	2,357		1,74	2,41	0,29
	240	2,365		1,43	2,16	0,27
10	190	2,332	2,371	1,65	5,49	0,98
	200	2,337		1,54	4,57	0,88
	210	2,349		0,96	3,9	0,69
	220	2,355		0,88	3,23	0,66
	230	2,366		0,24	-	-
11	160	2,307	2,345	1,6	9,57	2,94
	180	2,306		1,65	7,75	2,0
	200	2,330		0,55	5,36	1,26
	220	2,336		0,38	5,2	1,15

Приклади експериментально отриманих температурних залежностей показників пластичності, визначених прийнятими в роботі методами, представлені на **рис. 2**.

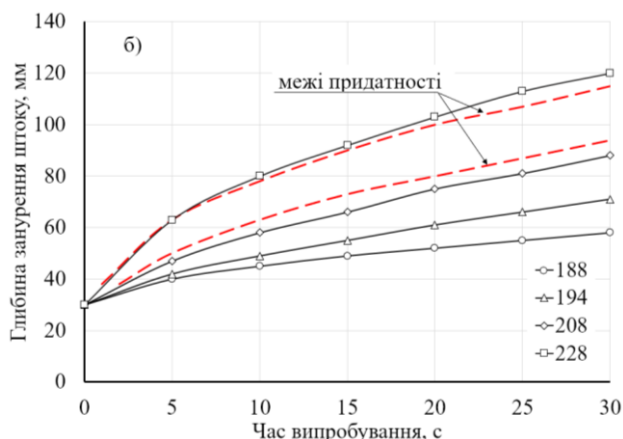
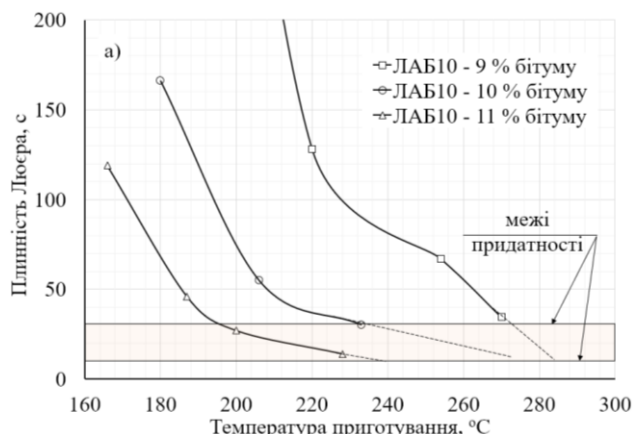
За критерії оптимальної пластичності приймали температури за яких:

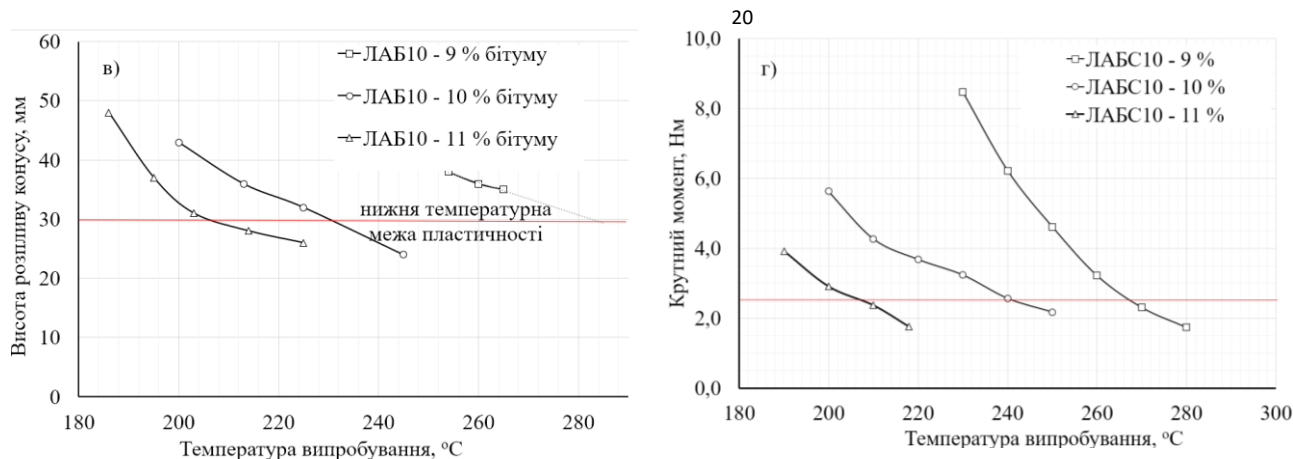
- для методу А – значення показника плинності перебуває в межах 10 ... 30 с (використані норми, представлені в [3], згідно з якими зі зниженням середньорічних температур повітря (в Китаї +22 °С, в Японії +16 °С, в Україні +9 °С) інтервал оптимальних показників плинності необхідно розширювати та зсувати в область більш високих значень);

- для методу Б – глибина занурювання випробувального стрижня перебуває в межах границь придатності із часом занурення штоку 10 с та 20 с (відповідає вимогам, прийнятим в [13]);

- для методу В – висота шару суміші після розтікання впродовж 60 с є меншою за 30 мм, (відповідає вимогам, наведеним у [15], водночас для ЛАБС-5 висота повинна бути меншою за 15 мм, а для ЛАБС-15 – меншою за 35 мм);

- для методу Г – крутний момент не перевищує 2,5 Н·м (відповідно [8]).





**Рис. 2.** Приклади встановлення технологічної пластичності, визначених прийнятими в роботі методами: а – температурна залежність плинності Люера, визначеної методом А, б – часова та температурна залежність глибини вдавлення штоку, визначеної методом Б, в – температурна залежність висоти розпливу конусу суміші, визначеної методом В, г – температурна залежність крутного моменту при перемішуванні суміші, визначеного методом Г

### Зіставлення методів визначення технологічної пластичності

Згідно з даними, представленими на рис. 2, встановлення раціонального складу литої асфальтобетонної суміші з оптимальним вмістом бітумного в'язучого є складною задачею, оскільки підвищення технологічної пластичності може спостерігатися у разі збільшення кількості в'язучого та підвищення температури виготовлення суміші. Водночас це може призводити до невідповідності вимог литого асфальтобетону нормам, представленим в національних стандартах та суттєвому підвищенню вартості приготування литої асфальтобетонної суміші. Виходячи з цього, є доцільним оцінювати технологічну пластичність литих асфальтобетонних сумішей, враховуючи значення експлуатаційної пластичності литого асфальтобетону, визначеної методом вдавлення штампу (згідно з вітчизняними нормами значення вдавлення штампу має бути в межах від 1,0 мм до 3,5 мм).

Так, наприклад, згідно з даними, представленими на рис. 2, а, температурні діапазони технологічної пластичності, визначенні за показником плинності Люера складають:

- для ЛАБС-10 з 9 % бітуму 273 ... 284 °С,
- для ЛАБС-10 з 10 % бітуму 234 ... 269 °С,
- для ЛАБС-10 з 11 % бітуму 196 ... 240 °С.

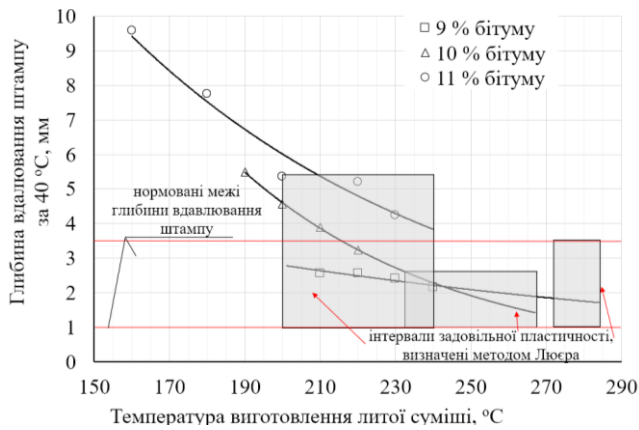
Виходячи з цих даних, найбільш прийнятними є кількість бітуму 11 % та технологічна температура приготування суміші від 196 °С. Виготовляти литу асфальтобетонну суміш із 9 % бітуму марки БНД 35/50 є недоцільним,

оскільки температури, що відповідають значенням пластичності Люера, є надто високими (273 ... 284 °С). Це є неприйнятним для виробництва, виходячи з умов забезпечення такої високої температури та підвищеною схильністю до старіння бітуму.

У разі врахування експлуатаційної пластичності литих асфальтобетонів (рис. 3) оптимальною стає кількість бітуму в 10%, а прийнятною температурою приготування литої суміші та укладання її в покриття є діапазон від 234 °С до 269 °С. Водночас у литої асфальтобетонної суміші з 11 % бітуму можна спостерігати невідповідність температурних діапазонів задовільної пластичності, визначеної методом Люера, та діапазону технологічної температури приготування суміші, за якої показник експлуатаційної пластичності (глибина вдавлення штампу за температури 40 °С) буде відповідати встановленим нормам. Отже, показники технологічної та експлуатаційної пластичності необхідно нормувати, а їхні значення спільно враховувати під час визначення складу суміші та встановлення технологічних режимів виготовлення і укладання в дорожнє покриття.

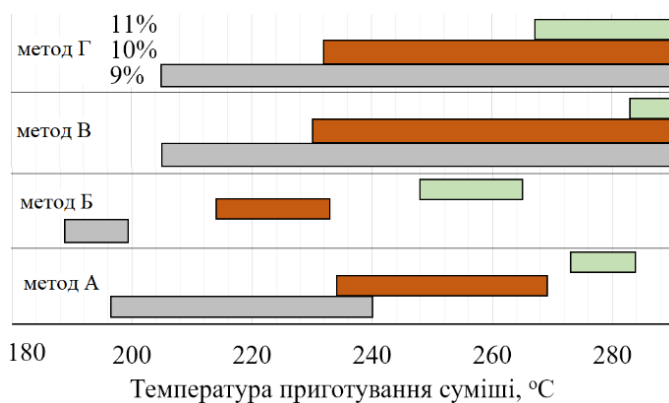
На основі отриманих у роботі експериментальних даних встановлено, що оптимальні температури приготування розглянутої литої асфальтобетонної суміші ЛАБС-10 із різною кількістю бітуму, визначені за значеннями технологічної пластичності, отриманими різними методами, є близькими (рис. 4). Водночас значення технологічної пластичності, встановлені методами Люера (метод А) та методом, що

ґрунтується на встановленні крутного моменту під час перемішування литої суміші (метод Г) є практично рівними. Це може свідчити про взаємозамінність цих методів для оцінювання якості литих асфальтобетонних сумішей.



**Рис. 3.** Вибір оптимальної температури приготування литої суміші та оптимальної кількості бітуму за критеріями технологічної та експлуатаційної пластичності

Виходячи з практичного досвіду використання розглянутих методів визначення технологічної пластичності (додатково розглянуті литі асфальтобетонні суміші різного гранулометричного складу, виготовлених за різних технологічних температур на різноманітних бітумних в'язучих, прийнятих у різній кількості) встановлено, що найбільш прийнятним є метод Г, що ґрунтується на визначенні крутного моменту.



**Рис. 4.** Порівняння оптимальних температур виготовлення литої асфальтобетонної суміші ЛАБС-10 із різною кількістю бітуму, визначених за значеннями технологічної пластичності, що визначена різними методами

Значною перевагою цього методу є те, що на відміну від інших методів у ньому є можливим здійснювати випробування за всіх прийнятих температур, не виймаючи литу суміш із випробувальної форми, що значно скорочує загальний час проведення дослідження до 60–90 хв. Крім того, завдяки відсутності необхідності декілька раз нагрівати суміш до температури випробування та витримувати її за цієї температури щонайменше 30 хв, суміш суттєво менше зістарюється, що підвищує точність отримуваних результатів.

Інші прийняті в дослідженні методи також можуть бути використаними для оцінювання технологічної пластичності литих асфальтобетонних сумішей з урахуванням таких положень (табл. 2):

- метод А (метод Люєра), завдяки простоті конструкції обладнання та можливості його використання в будь-якому місці, а також беручи до уваги значну кількість суміші, потрібної для проведення випробування, доцільно використовувати на асфальтобетонному заводі під час контролю якості суміші або безпосередньо на місці влаштування дорожнього покриття з метою встановлення прийнятності температури суміші для її задовільного розтікання;

- методи Б та В доцільно використовувати лише в лабораторних умовах, при цьому є необхідним внесення змін у конструкції приладів, скерованих на зменшення швидкості охолодження литої суміші під час проведення випробування.

### Порівняння прийнятих у роботі методів визначення технологічної пластичності

Показники оцінювання	Характеристики методів			
	метод А	метод Б	метод В	метод Г
Можливий температурний діапазон випробування, °С	160 – 270 °С			
Час проведення випробування за однієї температури, який охоплює завантаження суміші в прилад, безпосередньо випробування та очищення форми	до 1 хв	до 5 хв	до 2 – 5 хв	до 1 хв
Вага суміші, кг	11	4	1	6
Швидкість зниження температури під час випробування, °С	середня	середня	найвища	найнижча
Основні недоліки, що впливають на зручність використання методу та точність отримуваних результатів	значна вага литої суміші	тривалий час випробування; нерівномірне остигання суміші	налипання суміші на внутрішню частину форми; розрив суцільності суміші	вплив швидкості обертання на отримуваний результат

#### Висновки

У роботі представлені експериментальні дані визначення технологічної пластичності литих асфальтобетонних сумішей за допомогою: методу Люера; вдосконаленого методу Люера; методу, що ґрунтується на визначенні показника розтікання суміші під власною вагою; методу, що ґрунтується на оцінюванні пластичності за крутним моментом мішалки. Встановлені переваги та недоліки прийнятих методів. Визначено, що прийнятні температури технологічної пластичності, визначеної розглянутими в роботі методами, є близькими, що може свідчити про взаємозамінність цих методів для оцінювання якості литих асфальтобетонних сумішей. Під час встановлення оптимального складу литих сумішей та технологічних параметрів їхнього приготування необхідно одночасно враховувати значення технологічної пластичності литої суміші та експлуатаційної пластичності литого асфальтобетону, визначеної методом вдавлювання штампу.

#### References

1. Nikolaidis, A. (2014). Highway engineering: Pavements, materials and control of quality. CRC Press.
2. Staritzky, M. (1934). Gussasphalt. OGIZ.
3. Wang, C.H., Chen, Q., Gao, Z., Jiang, T., & Chen, J. (2017). Review on status and development of gussasphalt concrete. *Materials Review*, 31(9), 135-145.
3. Liu S. et al. (2018). Application of mastic asphalt waterproofing layer in high-speed railway track in cold regions. *Applied Sciences*, 8, 1-16.

4. Jang, Y.D., Park, T.S., & Lee, J.S. (2019). A study on the performance improvement of guss asphalt mixture. *Journal of the Korean Asphalt Institute*, 9, 2, 176-193.

5. Luo, S., Qian, Z., Yang, X., & Wang, H. (2017). Design of gussasphalt mixtures based on performance of gussasphalt binders, mastics and mixtures. *Construction and Building Materials*, 156, 131-141.

6. Tattersall, G. H. (1991). *Workability and quality control of concrete*. CRC Press.

7. MR V.2.7-37641918-897:2018 (2018). *Metodychni rekomendatsiyi shchodo pryhotuvannya ta zastosuvannya vibrolytoho asfal'tobetonu*. Kyiv: Ukravtdor.

8. Ali, A., Abbas, A., Nazzal, M., Alhasan, A., Roy, A., & Powers, D. (2014). Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. *Journal of materials in civil engineering*, 26, 6.

9. Bennert, T., Reinke, G., Mogawer, W., & Mooney, K. (2010). Assessment of workability and compactability of warm-mix asphalt. *Transportation research record*, 2180, 1, 36-47.

10. Poeran, N., & Sluer, B. (2016). Workability of asphalt mixtures. In 6<sup>th</sup> Eurasphalt & Eurbitume congress, Prague, Czech Republic.

11. Abdelgalil, S. M. K., Abdul Rahman, M., & Arshad, A. K. (2011). Development of workability measuring device for asphalt mixture using electronic transducer and temperature regulator. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 1, 7, 721-726.

12. Radenberg, M., & Gehrke, M. (2020). Untersuchungen zur Möglichkeit der Verarbeitung von Gussasphalt bei maximal 230 Grad Celsius ohne viskositätsverändernde Zusätze. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Straßenbau*, 146.

13. ČSN 73 6160 (2008). Zkoušení asfaltových směsí. 24.

14. State Standard of Ukraine. (2016). DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhni i ta aerodromni. *Metody vyprovuvannya* [State Standard of Ukraine B V.2.7-319:2016 Asphaltic concrete mixtures, road and aerodromes asphaltic concrete. Test methods]. Kyiv, 75.

15. Oksak, S. V. (2021). Vyznachennya temperaturnykh rezhymiv pryhotuvannya lytykh asfal'tobetonnykh sumishey na bitumnykh v'yazhuchykh riznoyi konsystentsiyi. *Visnyk KhNADU*, 92, 2.