**УДК 624.21.014.2** **DOI: 10.33744/0365-8171-2022-111-066-073**
**UDC 624.21.014.2**

# ВПЛИВ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ МОДИФІКАТОРІВ НА ВЛАСТИВОСТІ БІТУМІВ ДЛЯ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ВЛАШТУВАННІ ЕПОКСИАСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ НА АВТОДОРОЖНІХ МОСТАХ

# INFLUENCE OF THERMOSETTING MODIFIERS ON THE PROPERTIES OF BITUMEN FOR THEIR APPLICATION AT THE ARRANGEMENT OF EPOXY ASPHALT PAVEMENTS ON ROAD BRIDGES

***Зеленовський Володимир Анатолійович***, *Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.П. Шульгіна», відділ технологій дорожніх робіт, науковий співробітник, імейл: ukrdorndi@ukr.net, тел. +380637727292*

*https://orcid.org/0000-0001-5834-5456*

***Онищенко Артур Миколайович***, *Національний транспортний університет, кафедра мостів та тунелів, доктор технічних наук, професор, імейл: artur_onish@bigmir.net, тел. +380687771899*

*https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*

**Анотація.** Одним із механізмів руйнування шарів асфальтобетонного покриття на мостах, особливо з ортотропною плитою, є велика остаточна деформація, яка негативно впливає на довгострокову експлуатаційну роботу всієї мостової конструкції. Модифікація асфальтобетонної суміші епоксискладовими може бути вельми актуальним для усунення остаточної деформації через їх термореактивну природу. У цьому огляді епоксидна смола та її затверджувач розглядається як домінуючий компонент епоксидно-асфальтобетонної композитної системи, а за результатами проведених досліджень з визначення впливу температури на швидкість тужавлення епоксидної смоли, за результатами підбору в'яжучого для виробництва епоксиасфальтобетонних сумішей та встановлення життєздатності епоксив'яжучого з різним вмістом епоксискладових у бітумі у цій статті обговорюються методи та механізм її затвердіння.

Зазначені у цьому описі проведенні дослідження дуже корисні також з практичної точки зору, адже завдяки отриманим результатам визначення в'язкості епоксиасфальтобетону, в залежності від наявної кількості епоксидних складових у його складі, можна визначити допустимий час на його влаштування з урахуванням можливих особливостей.

З метою застосування епоксиасфальтобетонних покриттів на автодорожніх мостах та завдяки проведеним дослідженням визначено вплив на властивості бітуму введення епоксискладових у якості термореактивних модифікаторів. Методика досліджень та отримані результати проведених досліджень дозволяє визначати можливість застосування тих чи інших компонентів для приготування епоксиасфальтобетонних сумішей та їх життєздатність, дозволяє зробити оптимальний підбір суміші з урахуванням варіації температур та вмісту епоксискладових.

**Ключові слова:** епоксиасфальтобетон, епоксидна смола, покриття на мостах, модифікація бітуму, властивості бітуму, життєздатність модифікованого бітуму.

## Вступ

На Українських дорогах та у Європі більшість залізобетонних і металевих мостів мають асфальтобетонне покриття. Основна причина застосування асфальтобетону на мостах полягає у необхідності захисту мостових конструкцій від можливих пошкоджень, у тому числі викликаних дією протиожиледних сумішей, забезпечуючи при цьому їх довговічність.

Оскільки плита проїзної частини мосту більш гнучка, ніж основа дорожнього одягу, поверхневий шар повинен допускати великі переміщення без розтріскування, що призводить до конфлікту з вимогою високої жорсткості, що забезпечує хороші експлуатаційні властивості.

У мостових конструкціях мають місце великі деформації плити проїзної частини, і тому втомні руйнування асфальтобетонних шарів важливіші особливо для мостів із сталевою ортотропною плитою.

Таким чином, для того щоб знайти оптимальність між опором до появи залишкових деформацій (що призводять до утворення колійності) і опором втоми (що призводять до утворення тріщин) необхідно зменшити власну вагу мостової конструкції, а саме вагу дорожнього одягу на плиті проїзної частини необхідно звести до мінімуму. Саме тому на мостах було б доцільно застосовувати асфальтобетон на основі бітумів модифікованих термореактивними складовими. Але для досягнення мети забезпечення доріг автомобільними мостами з надійним, легким, довговічним епоксиасфальтобетонним покриттям, необхідно провести ще досить багато досліджень.

**Мета і методи.** Під дією навантаження від транспорту в плиті проїзної частини мосту виникають пружні деформації. Ці повторювані деформації сприймаються асфальтобетонним шаром і не повинні призводити до утворення втомних тріщин, тому суцільність при деформації є головною конструктивною вимогою.

Епоксиасфальтобетон – міцна і гнучка поверхня, що ідеально підходить для ортотропних плит проїзної частини мосту. Однак, це ще не досить досліджений матеріал для широкого його застосування, оскільки він потребує особливої технології приготування та укладання.

Для наближення мети застосування епоксиасфальтобетонних покриттів на автодорожніх мостах було проведено ряд досліджень, а саме:

– дослідження впливу температури на швидкість затвердіання епоксидної смоли;
– дослідження щодо визначення оптимального підбору в’яжучого для виробництва епоксиасфальтобетонних сумішей;
– дослідження щодо встановлення життєздатності епоксив’яжучого з різним вмістом епоксискладових у бітумі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час виконання досліджень використовувались наступні матеріали:

– бітум нафтовий дорожній в’язкий марки БНД 60/90 виробництва Мозирського НПЗ;
– дизельне паливо;
– затверджувач епоксидної смоли ПЕПА;
– затверджувач епоксидної смоли Л 19;
– затверджувач епоксидної смоли І-6М;
– епоксидна смола LE 826.

Проведення досліджень виконувалось у три етапи.

*Перший етап досліджень.* На першому етапі було проведено дослідження впливу температури на швидкість затвердівання епоксидної смоли. Швидкість затвердівання оцінювали за значеннями динамічної в’язкості компаунду (суміш епоксидної смоли та затверджувача). Епоксидну смолу змішували з необхідною кількістю затверджувача (таблиця 1) за температури 25 °С, 40 °С та 60 °С протягом 5 хв та одразу розміщували у випробувальній камері ротаційного віскозиметру, розігрітій до температури випробування. Результати випробувань наведені на рисунках 1 – 3.

Таблиця 1 – Склади компаундів
Table 1 – Compound compositions

| Позначення компаунду | Кількість епоксидної смоли, масових частин | Кількість затверджувача, масових частин |
|---|---|---|
| ПЕПА | 100 | 10 |
| Л 19 | 100 | 80 |
| І-6М | 150 | 100 |

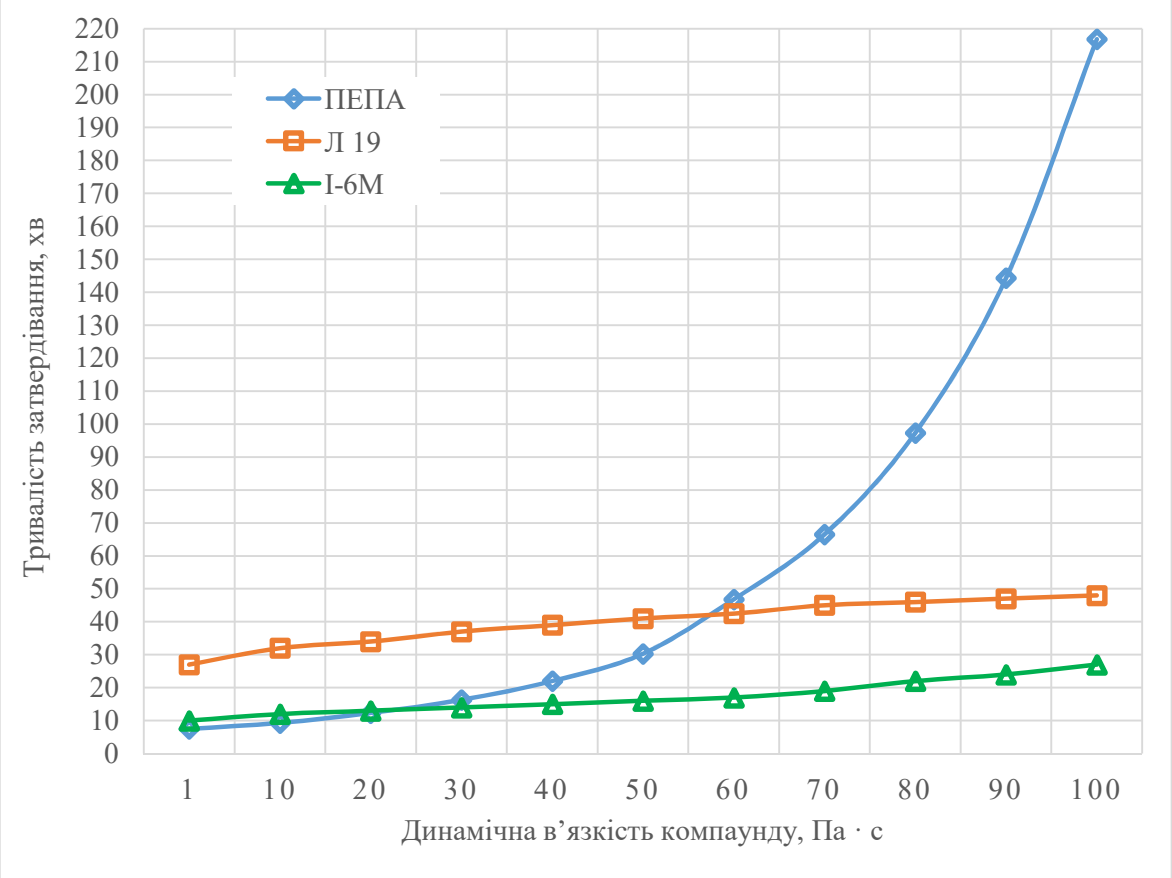


Рисунок 1 – Результати визначення динамічної в'язкості компаундів за температури 25 °С
Figure 1 – Results of determining the dynamic viscosity of compounds at a temperature of 25 °С

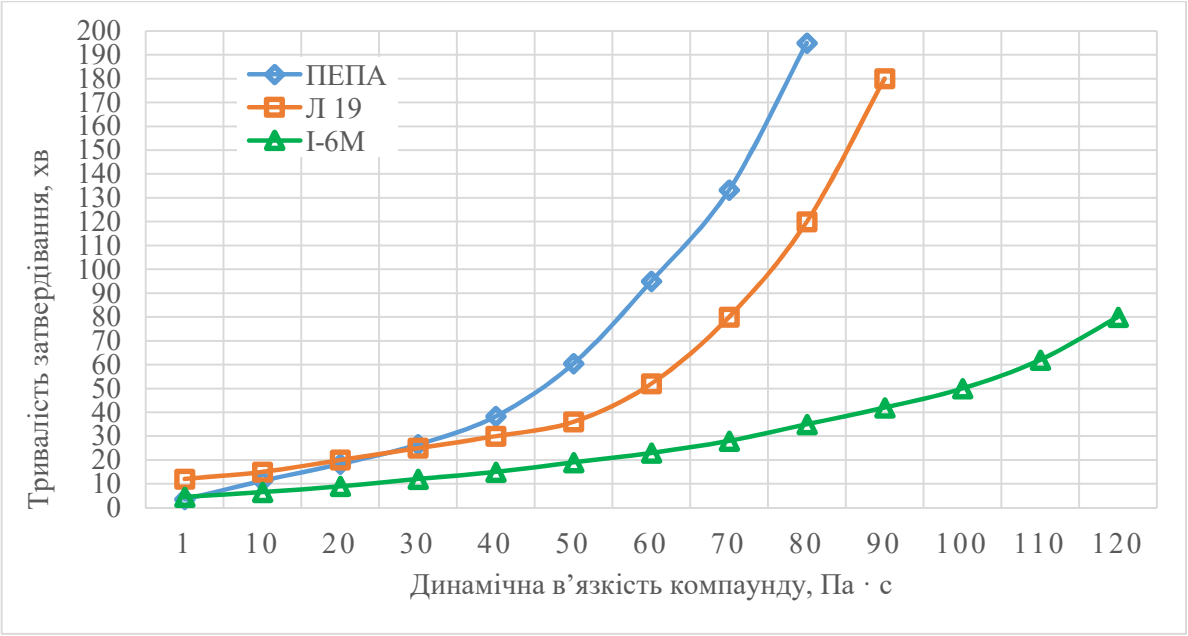


Рисунок 2 – Результати визначення динамічної в'язкості компаундів за температури 40 °С
Figure 2 – Results of determining the dynamic viscosity of compounds at a temperature of 40 °С

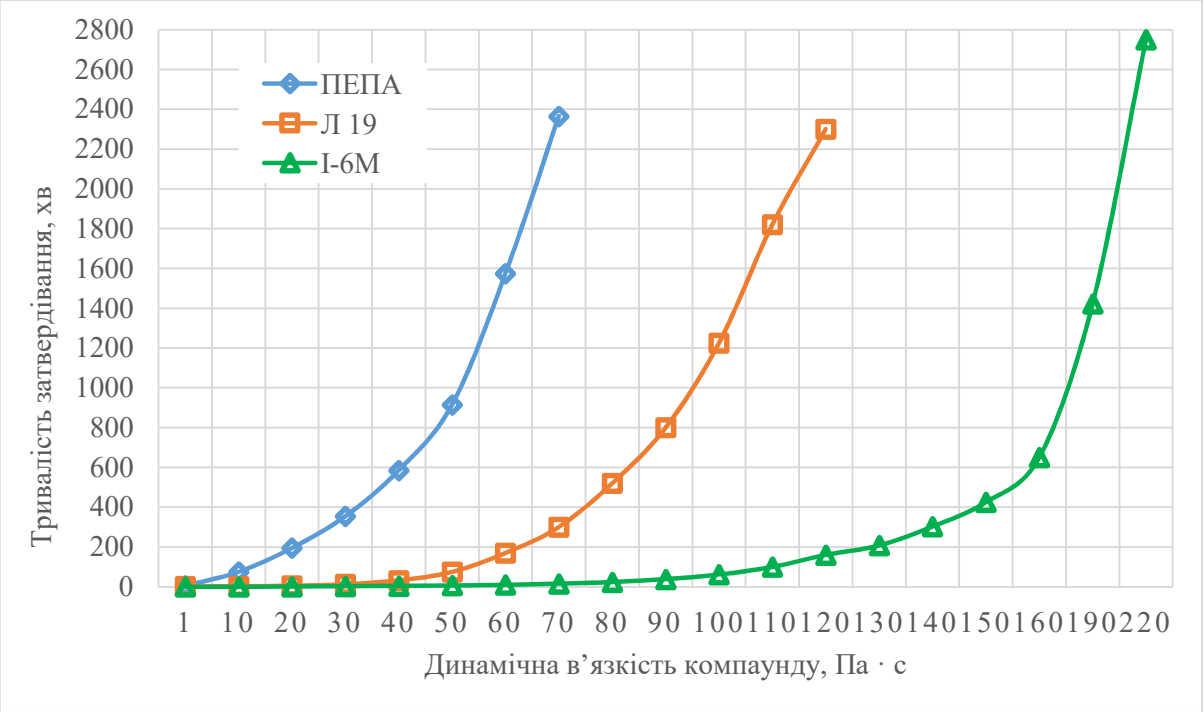


Рисунок 3 – Результати визначення динамічної в'язкості компаундів за температури 60 °С
Figure 3 – Results of determining the dynamic viscosity of compounds at a temperature of 60 °С

За температури 40 °С початкова в'язкість компаундів із затверджувачами ПЕПА та І-6М, як і за температури 25 °С, є меншою ніж компаунду із затверджувачем Л 19 (рисунок 2). При витримуванні усіх компаундів за температури 40 °С протягом 40 хв має місце поступове практично лінійне зростання в'язкості. При цьому, для компаунду із затверджувачем ПЕПА лінійність спостерігається до 40 хв затвердівання, із затверджувачем Л 19 – до 50 хв, а із затверджувачем І-6М – до 100 хв. Після вказаних проміжків часу відбувається стрімке зростання в'язкості. Так, якщо після 40 хв затвердівання компаунду із затверджувачем ПЕПА в'язкість зросла з 3,5 Па · с до 38,25 Па · с (на 34,8 Па · с), то після наступних 20 хв в'язкість зростає з 34,75 Па · с до 95 Па · с (на 60,3 Па · с), а після 40 хв (80 хв загального затвердівання) – до 195 Па · с (160,3 Па · с). Для компаунду із затверджувачем Л 19 має місце та ж тенденція зростання в'язкості. Найменшою інтенсивністю зростання в'язкості відзначається компаунд із затверджувачем І-6М. Однакова в'язкість з вищезазначеними компаундами досягається на 60 хв та 50 хв пізніше, тобто життєздатність такого компаунду є в два рази більшою.

За температури 60 °С починаючи з певного періоду затвердівання характер зміни в'язкості компаундів є практично однаковим. Найменшою початковою в'язкістю відзначається компаунд із затверджувачем І-6М. На відміну від попередніх випадків компаунд із затверджувачем ПЕПА має найбільшу початкову в'язкість, що може свідчити про практично миттєвий початок його затвердівання. Підтвердженням цьому може також бути відсутність лінійності зростання в'язкості при витримуванні цього компаунду за температури 60 °С. У порівнянні з компаундом, що містить ПЕПА, меншу інтенсивність зростання в'язкості має компаунд із затверджувачем Л 19. Це свідчить про його більшу життєздатність за температури 60 °С в порівнянні з першим компаундом. Практично в два рази більшу життєздатність, ніж компаунд з Л 19, має компаунд із затверджувачем І-6М. Так, після 60 хв затвердівання він має в 157 разів меншу в'язкість ніж компаунд із затверджувачем ПЕПА та у 17 разів – із затверджувачем Л 19.

Отже, за результатами визначення швидкості затвердівання компаундів встановлено, що найбільшою життєздатністю відзначається компаунд із затверджувачем І-6М.

*Другий етап досліджень.* Другий етап полягав у підборі в'яжучого для виробництва епоксиасфальтобетонних сумішей. Відомо, що максимальна в'язкість, за якої буде забезпечено якісне перемішування в'яжучого з кам'яним матеріалом, становить 0,5 Па · с (500 мПа · с). Саме температура досягнення в'яжучим в'язкості 500 мПа · с в Україні прийнята як мінімальна температура в'яжучого при перемішуванні з кам'яними матеріалами при виробництві асфальтобетонних сумішей.

Температура досягнення в'язкості 500 мПа · с бітумами нафтовими дорожніми в'язкими становить 130 °С і більше. Результати досліджень першого етапу дозволяють стверджувати, що введення епоксидного компаунду при такій температурі призведе до дуже швидкого його затвердівання. Тому виникає необхідність зниження в'язкості бітуму. Були досліджені в'яжучі, що вміщували 10 %, 20 % та 30 % розріджувача (дизельного палива). Результати визначення впливу дизельного палива на в'язкість бітуму наведено на рисунку 4.

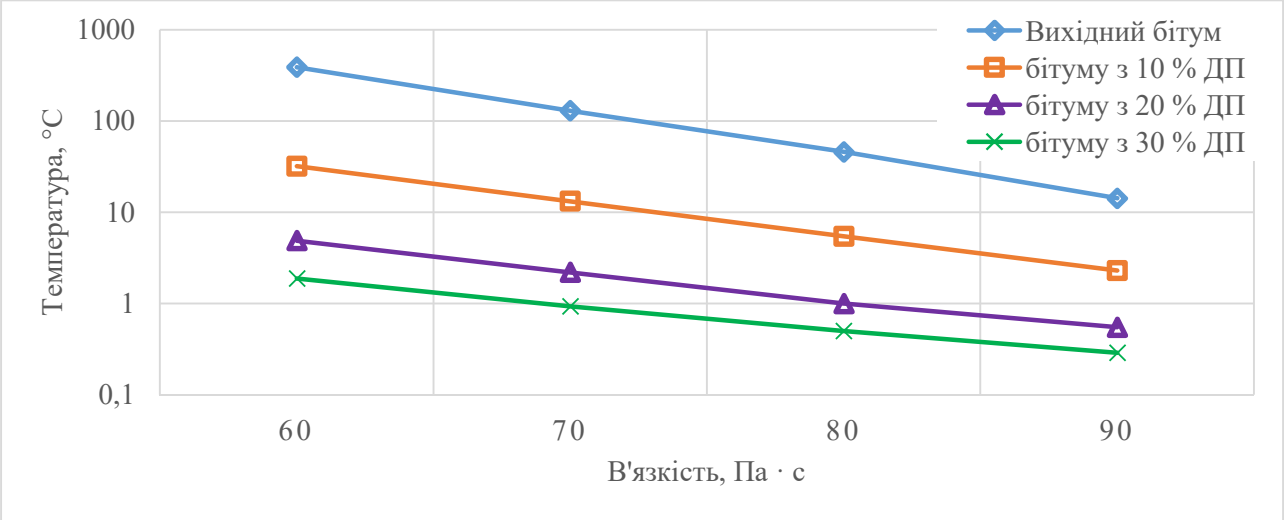


Рисунок 4 – Вплив дизельного палива на в'язкість бітуму
Figure 4 – Effect of diesel fuel on bitumen viscosity

При введенні в бітум 10 % ДП відбувається зниження динамічної в'язкості за всіх температур випробування. Так, в'язкість за температури 60 °С знижується в 12,2 рази, за температури 70 °С – в 10 раз, за температури 80 °С – в 8,4 рази, за температури 90 °С – в 6,2 рази. Тобто, із підвищенням температури вплив дизельного палива на в'язкість бітуму зменшується.

При введенні 20 % ДП в'язкість знижується в 80, 59, 46 та 26 разів, відповідно. В той же час при введенні 30 % ДП зниження в'язкості відбувається в 206, 140, 92 та 49 разів. Тобто встановлено, що чим більшим є вміст дизельного палива, тим нижчою є в'язкість отриманого в'яжучого. При вмісті дизельного палива в кількості 30 % вдалося досягти в'язкості в'яжучого 0,5 Па · с за температури 80 °С, саме це в'яжуче було прийнято для подальших досліджень. Цілком логічно, що при наступному збільшенні вмісту дизельного палива до 40 % або 50 % можна було б досягнути в'язкості 0,5 Па · с навіть за температури 70 °С, а можливо і за температури 60 °С.

*Третій етап досліджень.* Третій етап полягав у встановленні життєздатності епоксив'яжучого (суміші розрідженого бітуму, епоксидної смоли та затверджувача) з різним вмістом епоксискладових у бітумі. Як і на першому етапі роботи, життєздатність епоксив'яжучого оцінювали за значеннями його динамічної в'язкості.

Розріджений бітум нагрівали до робочої температури (80 °С) та вводили в нього затверджувач, після чого виконували їх перемішування. Епоксидну смолу вводили через 60 хв після введення затверджувача і перемішували епоксив'яжуче ще 10 хв, після чого в'яжуче одразу розміщували у випробувальній камері ротаційного віскозиметру, розігрітій до температури випробування (80 °С). Вміст епоксидної смоли у в'яжучому становив 5 %, 10 %, 20 % та 30 %. Співвідношення епоксидної смоли до затверджувача прийнято відповідно до таблиці 1. Результати випробувань наведені на рисунках 5 та 6.

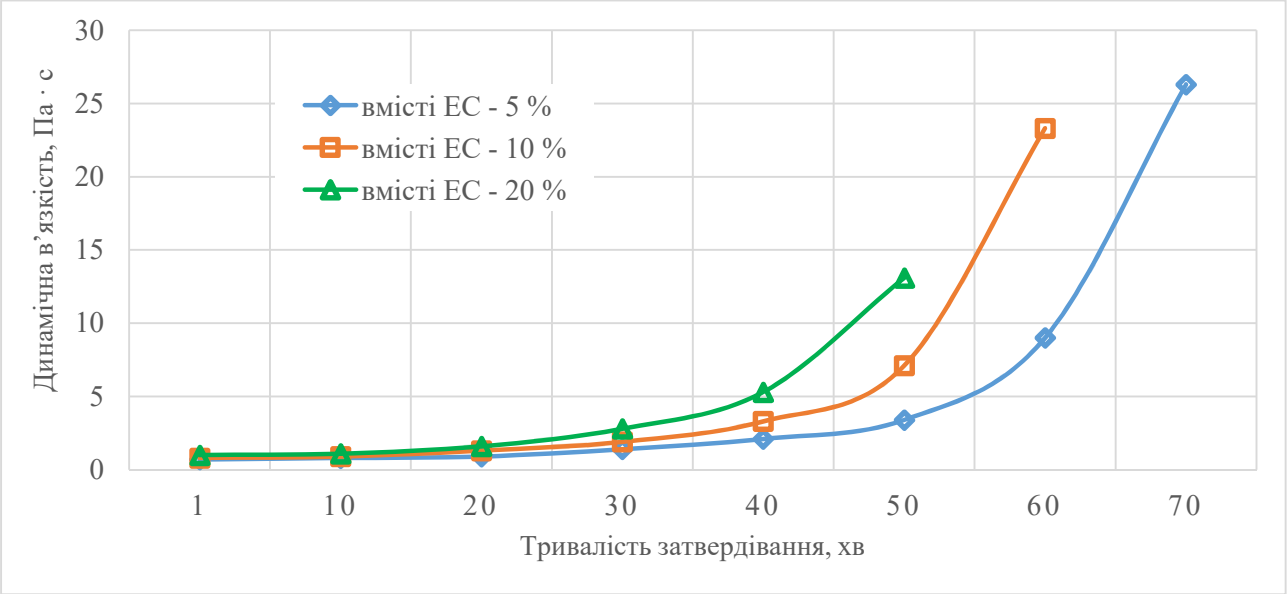


Рисунок 5 – Динамічна в'язкість епоксив'яжучого із затверджувачем Л 19 (t = 80 °С)
Figure 5 – Dynamic viscosity of epoxy binder with L 19 hardener (t = 80 °C)

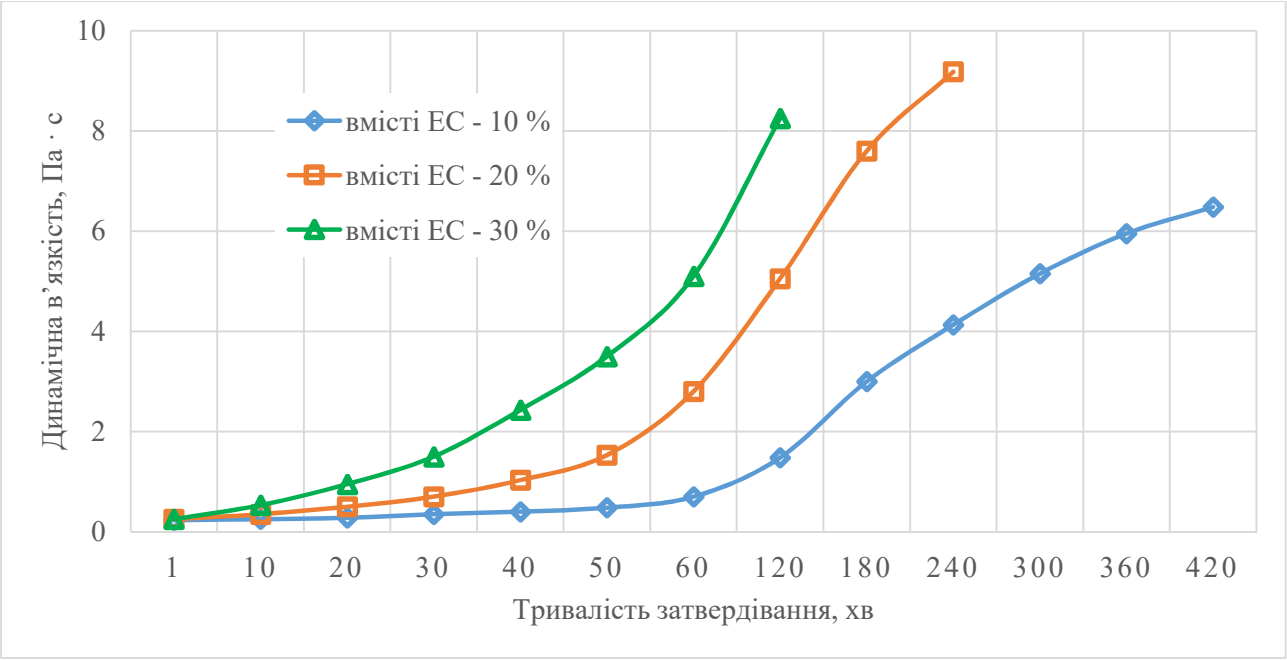


Рисунок 6 – Динамічна в'язкість епоксив'яжучого із затверджувачем І-6М (t = 80 °С)
Figure 6 – Dynamic viscosity of epoxy binder with I-6M hardener (t = 80 °C)

Розріджений бітум виконує роль пластифікатора і сповільнює швидкість затвердівання епоксидної смоли. Так, після 60 хв витримування компаунду за температури 60 °С в'язкість становить 170 Па · с, а після витримування епоксив'яжучого із затверджувачем Л 19 протягом того самого часу за температури 80 °С його в'язкість становить 9 Па · с, 23,25 Па · с та 157,5 Па · с.

Більшою життєздатністю відзначається епоксив'яжуче із затверджувачем І-6М, що проявляється в його меншій в'язкості після однакового часу затвердівання.

Для збільшення життєздатності епоксив'яжучого із затверджувачем Л 19 необхідно знизити температуру його виробництва за рахунок зменшення в'язкості розрідженого бітуму, тобто за рахунок збільшення вмісту дизельного палива.

Епоксив'яжучі із затверджувачем ПЕПА не вдалося отримати у зв'язку з практично моментальним їх затвердіванням.

**Результати і пояснення.** За результатами досліджень встановлено, що використання епоксискладовиху якості термореактивних модифікаторів бітуму з метою їх застосування при влаштуванні епоксиасфальтобетонних покриттів на автодорожніх мостах, потребує особливої уваги при виборі їх типу. Методика визначення впливу термореактивних модифікаторів на властивості бітумів базується на проведенні таких досліджень, як: дослідження впливу температури на швидкість затвердівання епоксидної смоли; дослідження щодо визначення оптимального підбору в'яжучого для виробництва епоксиасфальтобетонних сумішей; дослідження щодо встановлення життєздатності епоксив'яжучого з різним вмістом епоксискладових у бітумі. Отримані дані проведених досліджень дозволяють виконувати оптимальний підбір епоксиасфальтобетонних сумішей з урахуванням варіації температур та вмісту епоксискладових з метою досягнення найкращих їх технічних характеристик.

**Перелік посилань**

1. Онищенко А. М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів: автореферат дис. … канд. тех. наук. Київ, 2008. 21 с. URL: https://u.to/xEIhFg (дата звернення: 05.02.2019).

2. Невінгловський В. Ф. Методи розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах: автореферат дис. … канд. тех. наук. Київ, 2015. 20 с.

3. Peijun Xu, Peiliang Cong, Huan Ye, Shuanfa Chen. Modification of Epoxy Asphalt by Hyperbranched Polyester (Модифікація епоксидного асфальту гіперрозгалуженим поліестером). *Materials Science and Technology II*. Xi'an. 2013. Vol. 716. P. 379-382. URL: https://u.to/h9ktFg (дата звернення: 11.02.2019).

4. Кіщинський С. В., Копинець І. В. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести дослідження та розробити енерго та ресурсозберігаючі технології влаштування довговічних дорожніх покриттів з використанням термореактивних модифікаторів асфальтобетону з епоксискладовою». Київ, 2018. 122 с.

5. Alabaster D., Herrington P.R., Waters J. Ultra long life low noise porous asphalt (Влаштування асфальтобетонних покриттів з низьким рівнем шуму). *The Journal of the Acoustical Society of America*. Hong Kong. 2012. Vol. 131, Issue 4. 131(4):3225. URL: https://u.to/7-EtFg (дата звернення: 15.02.2019).

6. Widyamoko R., Elliott C. Planning and testing of durable layers of road surface wear (Планування та випробування зносостійких шарів дорожнього покриття). Scott Wilson Nottingham Central Laboratories. Notingham, 2006. 12 p.

7. ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. Київ, 2001. 15 с. (Інформація та документація).

8. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2012. 59 с. (Інформація та документація).

9. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 64 с. (Інформація та документація).

10. СОУ 45.2-00018112-057:2010 Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон на основі модифікованих полімерами бітумів. Київ, 2010. 15 с. (Інформація та документація).

## INFLUENCE OF THERMOSETTING MODIFIERS ON THE PROPERTIES OF BITUMEN FOR THEIR APPLICATION AT THE ARRANGEMENT OF EPOXY ASPHALT PAVEMENTS ON ROAD BRIDGES

**Zelenovsky Vladimir A.**, M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise (DerzhdorNDI SE), Researcher, e-mail: ukrdorndi@ukr.net, +380637727292, https://orcid.org/0000-0001-5834-5456.
**Onyshchenko Artur M.**, National Transport University (NTU), Tekhn. Sciences, e-mail: artur_onish@bigmir.net, +380687771899, https://orcid.org/0000-0002-1040-4530.

**Abstract.** One of the mechanisms of the destruction of asphalt concrete pavement layers on bridges, especially with an orthotropic slab, is a large final deformation, which negatively affects the long-term operational performance of the entire bridge structure. Modification of the asphalt concrete mixture with epoxy components can be very relevant to eliminate the final deformation due to their thermoreactive nature. In this review, epoxy resin and its hardener are considered as the dominant component of the epoxy-asphalt concrete composite system, and based on the results of studies on determining the effect of temperature on the rate of hardening of epoxy resin, on the results of the selection of a binder for the production of epoxy-asphalt concrete

mixtures and establishing the viability of an epoxy binder with different contents of epoxy components in bitumen, this article discusses the methods and mechanism of its hardening.

The research mentioned in this description is also very useful from a practical point of view, because thanks to the obtained results of determining the viscosity of epoxy-asphalt concrete, depending on the amount of epoxy components in its composition, it is possible to determine the permissible time for its arrangement, taking into account possible features.

With the aim of using epoxy-asphalt concrete coatings on road bridges and thanks to the conducted studies, the influence of the introduction of epoxy components as thermosetting modifiers on the properties of bitumen was determined. The research methodology and the obtained results of already conducted research will allow to determine the possibility of using certain components for the preparation of epoxy-asphalt concrete mixtures and their viability. It will make it possible to make an optimal selection of the mixture, taking into account the variation of temperatures and the content of epoxy components. Key words: epoxy asphalt concrete, epoxy resin, coating on bridges, bitumen modification, bitumen properties, viability of modified bitumen.

**Key words:** epoxy asphalt, epoxy resin, pavement of road bridges, bitumen modification, bitumen properties, viability of modified bitumen.

**References**

1. Onyshchenko A. N. Increase of longevity of asphalt - concrete's layers for an account the use of polymeric latexes: dissertation for a scientific degree Candidate Engineering Sciences. Kyiv, 2008. 21 p. URL: https://u.to/xEIhFg (Last accessed: 05.02.2019). [in Ukrainian].

2. Nevinhlovs′kyy V. F. Metody rozrakhunku zalyshkovoho resursu asfal′tobetonnoho pokryttya na transportnykh sporudakh (Methods of calculation of residual resource of asphalt concrete cover on transport structures): dissertation for a scientific degree Candidate Engineering Sciences. Kyiv, 2015. 20 p. [in Ukrainian].

3. Peijun Xu, Peiliang Cong, Huan Ye, Shuanfa Chen. Modification of Epoxy Asphalt by Hyperbranched Polyester. *Materials Science and Technology II*. Xi'an. 2013. Vol. 716. P. 379-382. URL: https://u.to/h9ktFg (Last accessed: 11.02.2019). [in English].

4. Kishchinsky S. V., Kopinets I. V. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Provesty doslidzhennya ta rozrobyty enerho ta resursozberihayuchi tekhnolohiyi vlashtuvannya dovhovichnykh dorozhnikh pokryttiv z vykorystannyam termoreaktyvnykh modyfikatoriv asfal′tobetonu z epoksyskladovoyu» (Conduct research and develop energy and resource-saving technologies for the construction of durable pavements using thermosetting epoxy concrete asphalt concrete modifiers). Kyiv, 2018. [in Ukrainian].

5. Alabaster D., Herrington P.R., Waters J. Ultra long life low noise porous asphalt. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Hong Kong. 2012. Vol. 131, Issue 4. 131(4):3225. URL: https://u.to/7-EtFg (Last accessed: 15.02.2019). [in English].

6. Widyamoko R., Elliott C., Planning and testing of durable layers of road surface wear. Scott Wilson Nottingham Central Laboratories. Notingham, 2006. 12 p. [in English].

7. State Standard of Ukraine (DSTU 4044-2001) Bitumy naftovi dorozhni v″yazki. Tekhnichni umovy (Bitumens are oil road bindings. Specifications). Kyiv, 2001. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-119:2011) Sumishi asfal′tobetonni i asfal′tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Tekhnichni umovy (Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Specifications). Kyiv, 2012. 59 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Sumishi asfal′tobetonni i asfal′tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Metody vyprobuvan′ (Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Test methods). Kyiv, 2016. 64 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

10. Standard of organization of Ukraine (SOU 45.2-00018112-057:2010) Asfal′tobetonni sumishi ta asfal′tobeton na osnovi modyfikovanykh polimeramy bitumiv (Asphalt mixes and asphalt concrete based on polymer modified bitumen). Kyiv, 2010. 15 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].