

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

МУДРИЧЕНКО АНАТОЛІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ

УДК 625.7/.85

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛИХ СУМІШЕЙ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А.Я. Мудриченко

Науковий керівник –
Савенко В'ячеслав Якович
доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02

_____ О.Ю. Усиченко

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Мудриченко А.Я. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використанням теплих сумішей – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2024.

У дисертації вирішена актуальна науково-практична задача, яка полягає в удосконаленні технології будівництва асфальтобетонних шарів з використанням теплих сумішей. Це дозволило одержати нові наукові результати для більш раціонального встановлювання параметрів технологічного процесу, забезпечити більшу енергозбереженість та отримання більш економічних рішень під час будівництва та ремонтів нежорстких дорожніх одягів.

На першому етапі був проведений аналіз закордонного досвіду лаштування шарів дорожнього одягу з використанням технологій теплих асфальтобетонів. Цей аналіз дозволив визначити основні перешкоди впровадження, які полягають у невизначеності щодо того, як ці технології можуть вплинути на довгострокові якісні характеристики улаштованого шару. Оскільки бітумні в'язучі під час приготування розігріваються до нижчих виробничих температур порівняно з гарячими асфальтобетонами, виникає певне занепокоєння, що досліджувані шари дорожнього одягу можуть бути менш стійкими до утворення колійності. Також існує занепокоєння, що улаштовані шари із теплих асфальтобетонних сумішей, можуть бути менш стійкими до атмосферних впливів. Для подальшого впровадження цієї технології необхідне краще розуміння того, як теплі технології впливають на фізико-механічні властивості асфальтобетонних сумішей і як ці властивості пов'язані з експлуатаційними характеристиками.

На другому етапі дослідження були визначені узагальнені теоретичні передумови, щодо впливу основних технологічних параметрів на фізико-механічні властивості теплих асфальтобетонних сумішей. За результатами експертної оцінки з використанням факторного аналізу було обґрунтовано вибір

найбільш впливових параметрів технологічного процесу. Встановлені параметри це – температура приготування суміші, вміст енергозберігаючої добавки та кількість доданої асфальтобетонної крихти.

Виконані теоретико-експериментальні дослідження з використанням теорії планування експерименту дозволили розробити математичні моделі, які вказують на зміну основних фізико-механічних показників теплового асфальтобетону в залежності від зміни найбільш вагомих параметрів. Це дозволить оптимізувати процес виготовлення асфальтобетонної суміші та покращити якість асфальтобетону.

Використання розроблених математичних моделей дозволило встановити оптимальні значення прийнятих факторів варіювання для виготовлення теплового асфальтобетону. Згідно з результатами дослідження, раціональні значення параметрів включають температуру перемішування у діапазоні від 133 °С до 138 °С, вміст енергозберігаючої добавки від 0,12 % до 0,17 % та кількість доданої асфальтобетонної крихти від 18 % до 22 % від маси суміші. Ці оптимальні значення допоможуть покращити якість теплового асфальтобетону та забезпечити оптимальні фізико-механічні властивості асфальтобетону.

Досліджено стійкість теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму до утворення колії. Результати досліджень показали, що за показником колієстійкості асфальтобетони, виготовлені за знижених температурами, не поступаються гарячим асфальтобетонам.

На підставі техніко-економічних розрахунків підтверджена доцільність застосування теплих асфальтобетонних сумішей для улаштування шарів дорожнього одягу. За рахунок зменшення температури перемішування суміші, зменшення кількості доданого бітуму та можливості додавати асфальтобетонну крихту у суміш, можна зменшити собівартість виготовлення суміші на 20 %. Це підтверджує переваги використання теплих асфальтобетонних сумішей як ефективного та економічного рішення для будівництва шарів дорожнього одягу.

Одним із результатів наукових досліджень є розроблення технологічного регламенту на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових

асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму, на асфальтобетонному заводі.

Розроблений технологічний регламент встановлює:

- загальну характеристику виробництва;
- характеристику вихідних матеріалів;
- технологічний процес виробництва;
- матеріальний баланс;
- контроль виробництва та управління технологічним процесом;
- основні вимоги щодо безпеки і охорони праці.

Розроблено технологічний регламент на виробництво холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх на асфальтобетонному заводі.

Розроблений технологічний регламент встановлює:

- загальну характеристику виробництва;
- характеристику вихідних матеріалів;
- технологічний процес виробництва;
- матеріальний баланс;
- контроль виробництва та управління технологічним процесом;
- основні вимоги щодо безпеки і охорони праці.

Результати досліджень впроваджено при розробленні технологічних регламентів на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму, холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх на асфальтобетонному заводі. Проведено супровід процесу виготовлення сумішей за знижених у порівнянні із традиційними гарячими технологіями температурами та процесу улаштування асфальтобетонної суміші із контролем технологічних температур.

Ключові слова: автомобільна дорога, в'язуче, дорожній одяг, енергозберігаюча добавка, тепла асфальтобетонна суміш, температура, фізико-механічні показники.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Savenko V., Honcharenko V., Illiash S., Mudrychenko A., Balashov I. Substantiating the choice and optimizing the parameters for the technology of hot recycling of asphalt concrete road coating. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 3/1 (105). P. 76-8. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203947>.

2. Mudrychenko A., Savenko V., Illiash S., Honcharenko V., Determination of the weight of factors affecting the physical and mechanical characteristics of warm asphalt concrete mixtures. World Science. 1(83), 2024. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8116.

Статті у фахових виданнях України:

3. Мудриченко А.Я., Савенко В.Я. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використання теплих сумішей. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Київ: НТУ, 2018. – Вип. № 103, С. 075 – 083. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/103/75.pdf

4. Савенко В.Я., Ілляш С.І., Мудриченко А.Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. Збірник Дороги і мости. Розділ «Будівництво та цивільна інженерія», Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2022. – Вип. № 25, С. 087 – 099. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.087>.

5. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Дослідження стійкості до утворення колії теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з використанням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму з додаванням регенованого асфальтобетону. Збірник Дороги і мости. Розділ «Будівництво та цивільна

інженерія», К.: ДП «ДерждорНДІ», 2023. – Вип. № 27, С. 121 – 129. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.121>.

6. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я, Стасюк Т.О. Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування теплих асфальтобетонних сумішей для улаштування шарів дорожнього одягу. Вісник НТУ. Київ, 2023 Вип. 55. С. 240 – 246. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-240-246>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Технологія приготування теплих асфальтобетонних сумішей на в'язкому бітумі. Матеріали LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ: НТУ, 2017. С. 134 – 135. URL: <https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvopAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

8. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використання теплих сумішей. Матеріали LXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ: НТУ, 2020. С. 142. URL: <https://drive.google.com/file/d/1Hlm8obLCicsOsLCs-eL7N7VIKdi7PWlv/view>

9. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. Матеріали LXXVIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. К.: НТУ, 2022. С. 120 – 121. <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2022-78>.

10. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Теплі асфальтобетонні суміші як компонент енергозбереження у дорожньому будівництві. Матеріали LXXVIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2023 р. Київ. С. 154 – 155. URL: <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2023-79>.

11. Мудриченко А.Я. Використання теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму в дорожньому будівництві. І Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2022. С. 5-6. URL: <https://doi.org/10.36100/conference2022.01>.

12. Мудриченко А.Я. Оптимізація вмісту енергозберігаючої добавки, асфальтобетонної крихти та температурного режиму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей. ІІ Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2023. С. 15-16. URL: <https://doi.org/10.36100/conference2023.01.001>.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. ТР 03450778/44583855-001:2023 Технологічний регламент на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму та асфальтобетонних сумішей на основі бітумів, модифікованих полімерами, на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant». Київ, 2023. 52 с.

14. ТР 03450778/44583855-002:2023 Технологічний регламент на виробництво холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних бітомомінеральних дорожніх на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant». Київ, 2023. 45 с.

ABSTRACT

Mudrychenko A.Y. Improvement of the technology of laying road pavement using warm mix asphalt – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.22.11 «Highways and Airfields». (192 – Construction and Civil Engineering). - National Transport University, Kyiv, 2024.

The dissertation solved an important scientific and practical task, which consists in improve the technology of laying road pavement using warm mix asphalt. This made it possible to obtain new scientific results for a more rational setting of technological process parameters, to ensure greater energy efficiency and obtain more economical solutions during construction.

The analysis of the foreign experience of laying road pavement using warm mix asphalt made it possible to determine the main obstacles to implementation, which are the uncertainty about how these technologies can affect the long-term qualitative characteristics of the road pavement. Since bituminous binders during preparation are heated to lower production temperatures compared to hot asphalt concretes, there is some concern that the tested pavements may be less resistant to rutting. A better understanding of how warm technologies affect the physical and mechanical properties of asphalt mixtures and how these properties relate to field performance is necessary for further implementation of this technology.

The theoretical prerequisites for determining the main parameters affecting the physical and mechanical properties of warm asphalt concrete mixtures have been implemented.

According to the results of an expert assessment using factor analysis, the choice of the most important parameters of the technology, which are the temperature of the mixture preparation, the content of the energy-saving additive and the amount of added asphalt concrete crumb, is substantiated.

The performed theoretical and experimental studies using the theory of experiment planning made it possible to develop mathematical models of changes in

the main physical and mechanical properties of warm asphalt concrete depending on the change of the most important parameters.

The use of the developed mathematical models made it possible to establish rational values of the accepted variation factors which correspond to the mixing temperature during manufacture - (133 – 138) °C, the content of the energy-saving additive – (0.12 – 0.17) %, the amount of added asphalt concrete crumb – (18 – 22) % of the mass of the mixture.

The stability of warm asphalt concrete mixtures based on bitumen with the addition of energy-saving additives and foamed bitumen to the formation of a rut was investigated. The research results showed that asphalt concrete produced at reduced temperatures is not inferior to hot asphalt concrete in terms of rutting resistance.

On the basis of technical and economic calculations, the expediency of using warm asphalt concrete mixtures for the arrangement of road surfaces has been confirmed. By reducing the mixing temperature of the mixture, reducing the amount of bitumen added, and the possibility of adding asphalt concrete crumbs to the mixture, it is possible to reduce the cost of the work by 12%.

One of the results of scientific research is the development of technological regulations for the production of asphalt concrete mixtures, crushed-mastic asphalt concrete mixtures, asphalt concrete mixtures using foamed bitumen, at an asphalt concrete plant.

The developed technological regulation establishes:

- general characteristics of production;
- characteristics of raw materials;
- technological process of production;
- material balance;
- production control and technological process management;
- basic requirements for occupational safety and health.

Technological regulations for the production of cold asphalt concrete mixtures and cold bituminous road mixtures at an asphalt concrete plant have been developed.

The developed technological regulation establishes:

- general characteristics of production;
- characteristics of raw materials;
- technological process of production;
- material balance;
- production control and technological process management;
- basic requirements for occupational safety and health.

The results of the research were implemented in the development of technological regulations for the production of asphalt concrete mixtures, crushed-mastic asphalt concrete mixtures, asphalt concrete mixtures using foamed bitumen, at an asphalt concrete plant. The process of manufacturing mixtures at temperatures lower than those of traditional hot technologies and the process of setting up an asphalt concrete mixture with technological temperature control were supported.

Key words: road, binder, road surface, energy-saving additive, warm asphalt concrete mix, temperature, physical and mechanical indicators.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Savenko V., Honcharenko V., Illiash S., Mudrychenko A., Balashov I. Substantiating the choice and optimizing the parameters for the technology of hot recycling of asphalt concrete road coating. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 3/1 (105). P. 76-8. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203947>.

2. Mudrychenko A., Savenko V., Illiash S., Honcharenko V., Determination of the weight of factors affecting the physical and mechanical characteristics of warm asphalt concrete mixtures. World Science. 1(83), 2024. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8116.

Статті у фахових виданнях України:

3. Мудриченко А.Я., Савенко В.Я. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використання теплих сумішей. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Київ: НТУ, 2018. – Вип. № 103, С. 075 – 083. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/103/75.pdf

4. Савенко В.Я., Ілляш С.І., Мудриченко А.Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. Збірник Дороги і мости. Розділ «Будівництво та цивільна інженерія», Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2022. – Вип. № 25, С. 087 – 099. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.087>.

5. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Дослідження стійкості до утворення колії теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з використанням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму з додаванням регенованого асфальтобетону. Збірник Дороги і мости. Розділ «Будівництво та цивільна інженерія», К.: ДП «ДерждорНДІ», 2023. – Вип. № 27, С. 121 – 129. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.121>.

6. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я., Стасюк Т.О. Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування теплих асфальтобетонних сумішей для улаштування шарів дорожнього одягу. Вісник НТУ. Київ, 2023 Вип. 55. С. 240 – 246. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-240-246>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Технологія приготування теплих асфальтобетонних сумішей на в'язкому бітумі. Матеріали LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ: НТУ, 2017. С. 134 – 135. URL: <https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvopAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

8. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використання теплих сумішей. Матеріали LXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ: НТУ, 2020. С. 142. URL: <https://drive.google.com/file/d/1Hlm8obLCicsOsLCs-eL7N7VIKdi7PWIV/view>

9. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. Матеріали LXXVIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. К.: НТУ, 2022. С. 120 – 121. <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2022-78>.

10. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Теплі асфальтобетонні суміші як компонент енергозбереження у дорожньому будівництві. Матеріали LXXVIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2023 р. Київ. С. 154 – 155. URL: <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2023-79>.

11. Мудриченко А.Я. Використання теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму в дорожньому будівництві. І Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2022. С. 5-6. URL: <https://doi.org/10.36100/conference2022.01>.

12. Мудриченко А.Я. Оптимізація вмісту енергозберігаючої добавки, асфальтобетонної крихти та температурного режиму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей. ІІ Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2023. С. 15-16. URL: <https://doi.org/10.36100/conference2023.01.001>.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. ТР 03450778/44583855-001:2023 Технологічний регламент на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму та асфальтобетонних сумішей на основі бітумів, модифікованих полімерами, на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant». Київ, 2023. 52 с.

14. ТР 03450778/44583855-002:2023 Технологічний регламент на виробництво холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних бітомомінеральних дорожніх на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant». Київ, 2023. 45 с.

ЗМІСТ

С.

ЗМІСТ	14
ВСТУП	16
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ	22
1.1 Загальні відомості щодо теплового асфальтобетону	22
1.2 Огляд основних технологій виробництва теплих асфальтобетонних сумішей	25
1.3 Мета та задачі досліджень	45
Висновки до розділу 1	46
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ	48
2.1 Обґрунтування вибору параметрів технології приготування теплих асфальтобетонних сумішей	48
2.2 Встановлення вагомості факторів	71
Висновки до розділу 2	78
РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ НАЙБІЛЬШ ЗНАЧИМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИГОТУВАННЯ ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ	80
3.1 Визначення раціональних значень основних технологічних параметрів	80
3.2 Дослідження процесу формування структури теплих асфальтобетонних сумішей	103
3.3 Дослідження стійкості теплих асфальтобетонних сумішей до утворення колії	108
Висновки до розділу 3	113

РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	115
4.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування теплих асфальтобетонних сумішей для улаштування шарів дорожнього одягу.....	115
4.2 Технологічний регламент на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму, на асфальтобетонному заводі	120
4.3 Практичне застосування удосконаленої технології приготування теплих асфальтобетонних сумішей.....	142
Висновки до розділу 4.....	145
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	147
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	149
ДОДАТОК А КАЛЬКУЛЯЦІЯ ТРУДОВИХ ВИТРАТ НА ВИРОБЛЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ НА АБЗ	164
ДОДАТОК Б РОЗРАХУНОК РЕСУРСНИХ КОШТОРИСНИХ НОРМ.....	171
ДОДАТОК В РОЗРОБЛЕНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕГЛАМЕНТИ НА ВИРОБНИЦТВО АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ.....	184
ДОДАТОК Г ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК.....	189
ДОДАТОК Д СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	194

ВСТУП

Актуальність роботи.

Одним із головних завдань дорожньої галузі є підвищення довговічності дорожніх одягів та зниження витрат на їх влаштування. Асфальтобетон наразі є найпоширенішим матеріалом для влаштування верхніх шарів дорожнього одягу в Україні та світі за рахунок своїх фізико-механічних властивостей, транспортно-експлуатаційних характеристик, відпрацьованій та налагодженій технології виробництва і улаштування, а також відносній простоті під час відновлення. Звичайний гарячий асфальтобетон змішується та ущільнюється при температурах від 150 °C до 190 °C. Виробництво проходить у кілька етапів, включаючи сушіння та нагрівання агрегату, нагрівання в'язучого та змішування всіх компонентів. Кінцева температура перемішування асфальтобетонної суміші зазвичай складає близько 165 °C. За таких підвищених температур споживається значна кількість енергії, а в атмосферу викидається велика кількість парникових газів та забруднюючих речовин.

Технології теплих асфальтобетонних сумішей це технічний термін, що використовується для опису асфальтобетонних сумішей, що виробляються за температур нижче традиційних гарячих асфальтобетонів, що приготовані на тому ж бітумі зазвичай на 20-40 °C без погіршення фізико-механічних властивостей улаштованих шарів дорожнього одягу. Це досягається за рахунок відносно нових фізико-хімічних ефектів, що приводять до зниження опору суміші зсуву під час її приготування та ущільнення.

Використання технологій теплих асфальтобетонів сприяє екологічності та економії енергоресурсів, тобто зниження витрат енергії та зниження викидів CO₂. Технологія теплих асфальтобетонних сумішей дає можливість укласти асфальтобетонні шари при нижчих температурах і при цьому забезпечувати необхідну щільність покриття, транспортувати суміші на довші відстані і при цьому зберігати рухомість при укладанні та ущільненні, ущільнювати суміш з меншим зусиллям.

Основні перешкоди впровадження, що полягають в невизначеності щодо того, як зазначені технології можуть вплинути на довгострокові якісні характеристики улаштованого покриття. Оскільки бітумні в'язучі під час приготування розігрівають до нижчих виробничих температурах у порівнянні із гарячими асфальтобетонами виникає певне занепокоєння, що досліджувані покриття можуть бути менш стійкі до утворення колійності. Також існує занепокоєння щодо того, що покриття, улаштовані із теплих асфальтобетонних сумішей, є менш стійкими до атмосферних впливів. Краще розуміння того, як теплі технології впливають на фізико-механічні властивості асфальтобетонних сумішей і як ці властивості пов'язані з польовими характеристиками, необхідні для подальшого впровадження цієї технології.

Тобто, для вірного підходу до впровадження технології теплового асфальтобетону в Україні потрібно виконати глибокий аналіз наявного досвіду влаштування теплового асфальтобетону, оцінити існуючі напрацювання в даному напрямку, виконати теоретико-експериментальні дослідження зазначеної технології для можливості її ефективної роботи в умовах України.

Таким чином, актуальність роботи полягає у вирішенні наступної науково-практичної задачі – підвищення строку служби автомобільних дорожніх покриттів в Україні та зменшення витрат на їх влаштування за рахунок удосконалення технології улаштування дорожнього покриття із використанням теплих асфальтобетонних сумішей з встановленням раціональних технологічних режимів, що сприятиме розвитку дорожньої галузі України в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертації відповідає напрямам і завданням державних науково-технічних програм: «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 21.03.2018 р. № 382).

Дисертаційні дослідження виконані відповідно до планів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України (Агентства відновлення) при виконанні науково-дослідних робіт: «Провести дослідження та розробити рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів» (№ державної реєстрації 0117U001941); «Розроблення сучасних методів будівництва та експлуатації автомобільних доріг, транспортних споруд з оцінкою їх якісного стану, проведення експертної оцінки основних фондів дорожніх підприємств» (№ державної реєстрації 0122U001566).

Мета і задачі досліджень. Метою цього дослідження є розробка теоретично та експериментально обґрунтованих методів для удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використанням теплих сумішей та встановлення раціональних технологічних режимів.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- встановити та проаналізувати найбільш значимі фактори, що впливають на структуру поведінки асфальтобетонного шару дорожнього одягу, улаштованого із теплих асфальтобетонних сумішей;
- розробити математичну модель залежності основних фізико-механічних властивостей теплих асфальтобетонів у залежності від зміни найбільш значущих технологічних параметрів на основі теорії планування експерименту;
- на основі математичного моделювання визначити раціональний вміст енергозберігаючої добавки для збереження рухливості та зручноукладаності асфальтобетонної суміші, що виготовлена за зниженими у порівнянні із традиційними технологіями температурами, встановити раціональні області температур змішування під час виготовлення, раціональну кількість доданої асфальтобетонної крихти від маси суміші на основі проведених досліджень;
- обґрунтувати техніко-економічну доцільність застосування технології теплих асфальтобетонних сумішей та визначити область її раціонального

застосування; провести дослідне виробниче впровадження отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – процес будівництва асфальтобетонних шарів дорожнього одягу на автомобільних дорогах із теплих сумішей.

Предмет дослідження – технологія улаштування асфальтобетонних шарів із теплих сумішей.

Методи дослідження: метод аналізу; метод експертних оцінок; теорія планування експерименту; метод порівняння, розрахунково-дослідний та розрахунково-аналітичний методи, економічна оцінка.

Наукова новизна отриманих результатів.

– обґрунтовано основні параметри технології виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей за методом факторного аналізу;

– за результатами теоретично-експериментальних досліджень вперше одержано математичні моделі залежностей фізико-механічних характеристик теплового асфальтобетону від зміни температури змішування суміші, вмісту енергозберігаючої добавки та кількості доданої асфальтобетонної крихти, реалізація яких дала можливість встановити їх раціональні області;

– розроблена методологія вибору найбільш вагомих параметрів технології улаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу із теплих сумішей.

Практичне значення отриманих результатів: полягає у практичному впровадженні нових технологій виготовлення асфальтобетонних сумішей для улаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу шляхом проведення аналітичного огляду та аналізу досвіду використання вищезазначених технологій, умов їх застосування, можливості використання цих технологій в умовах України, визначенні раціональних областей її використання. Визначена економічна ефективність технологій теплих асфальтобетонів.

Матеріали досліджень були впроваджені в Державному агентстві відновлення та розвитку інфраструктури України при розробленні нормативних галузевих документів: Р В.2.7-37641918-894:2018 «Рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі

спінених бітумів»; під час розроблення ТР 03450778/44583855-001:2023 «Технологічний регламент на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму та асфальтобетонних сумішей на основі бітумів, модифікованих полімерами, на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant»», ТР 03450778/44583855-002:2023 «Технологічний регламент на виробництво холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних бітомомінеральних дорожніх на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant»» та у навчальному процесі, а саме при викладанні дисциплін «Технологія будівництва доріг», «Сучасні технології будівництва автомобільних доріг» та в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємствах та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно. Внесок автора в опублікованих зі співавторами наукових працях:

- проведено аналітичний огляд досвіду використання теплих асфальтобетонів в шарах дорожнього одягу та досвіду впровадження зазначеної технології за кордоном. [58 – 61];

- проведено експериментальні дослідження з підбору зернового складу та вмісту бітуму асфальтобетонів, виготовлених за теплими технологіями. Виконано аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму [61, 80 – 83, 98];

- визначено найбільш значимі параметри впливу на ефективність технологій теплих асфальтобетонів [80, 81, 136];

– розроблено математичні моделі зміни фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонів в залежності від зміни основних технологічних параметрів [80, 136];

– автором проаналізовано технологічні та вартісні аспекти доцільності впровадження теплих асфальтобетонів [60 – 61, 133].

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів: підтверджується застосуванням фізично обґрунтованих (на основі експериментальних даних) математичних моделей, які перевірені на адекватність; достатнім обсягом експериментальних даних, що отримані з використанням сучасного лабораторного обладнання; апробацією результатів роботи під час виробничого впровадження.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи були представлені на наступних конференціях і семінарах: I Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2022. II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2023; наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету в 2017 р., 2020 р., 2022 р. та 2023 р.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 14 наукових праць, у тому числі: 6 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (1 стаття у виданні, яке включене до наукометричної бази Scopus); 1 стаття у зарубіжних періодичних наукових виданнях; 6 у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій; 2 праці додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 136 найменувань та п'ять додатків. Загальний обсяг дисертації становить 197 сторінок. Основний текст викладений на 133 сторінках. Текст ілюструється 48 рисунками і містить 52 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

1.1 Загальні відомості щодо теплового асфальтобетону

Довгострокова ціль Паризької угоди передбачає утримання підвищення глобальної середньої температури на 2°C нижче у порівнянні доіндустріальним рівнем з метою обмеження такого підвищення до $1,5^{\circ}\text{C}$. Це пояснюється тим, що цей конкретний поріг значно зменшить наслідки та ризики зміни клімату [1]. У той же час, будівництво екологічно чистої та сталої транспортної інфраструктури призводить до збереження навколишнього середовища, зменшення споживання енергії та збереження природних ресурсів [2].

Починаючи з 1900-х років, гарячі асфальтобетонні суміші (АСГ) були найпоширенішою та загальновизнаною технологією будівництва асфальтобетонних покриттів. Асфальтобетон складається з більш ніж 93% мінеральних заповнювачів та наповнювача і менше 7% бітуму, що виконує роль в'язучого. Бітум – це м'який матеріал, що складається з кількох компонентів і є побічним продуктом нафтової промисловості. Його хімічний склад складний і його можна охарактеризувати за допомогою спеціальних методів [3].

Звичайний гарячий асфальтобетон змішується та ущільнюється при температурах від 150°C до 190°C . Виробництво АСГ проходить у кілька етапів, включаючи сушіння та нагрівання агрегату, нагрівання в'язучого та змішування всіх компонентів. Кінцева температура перемішування асфальтобетонної суміші зазвичай складає близько 165°C [4]. За таких підвищених температур споживається значна кількість енергії, а в атмосферу викидається велика кількість парникових газів та забруднюючих речовин.

Технології теплих асфальтобетонних сумішей (АСТ) це технічний термін, що використовується для опису асфальтобетонних сумішей, що виробляються при температурах нижче традиційних АСГ зазвичай на $10\text{-}40^{\circ}\text{C}$ [3].

На рисунку 1.1 наведено класифікацію асфальтобетонних сумішей за температурою виробництва.

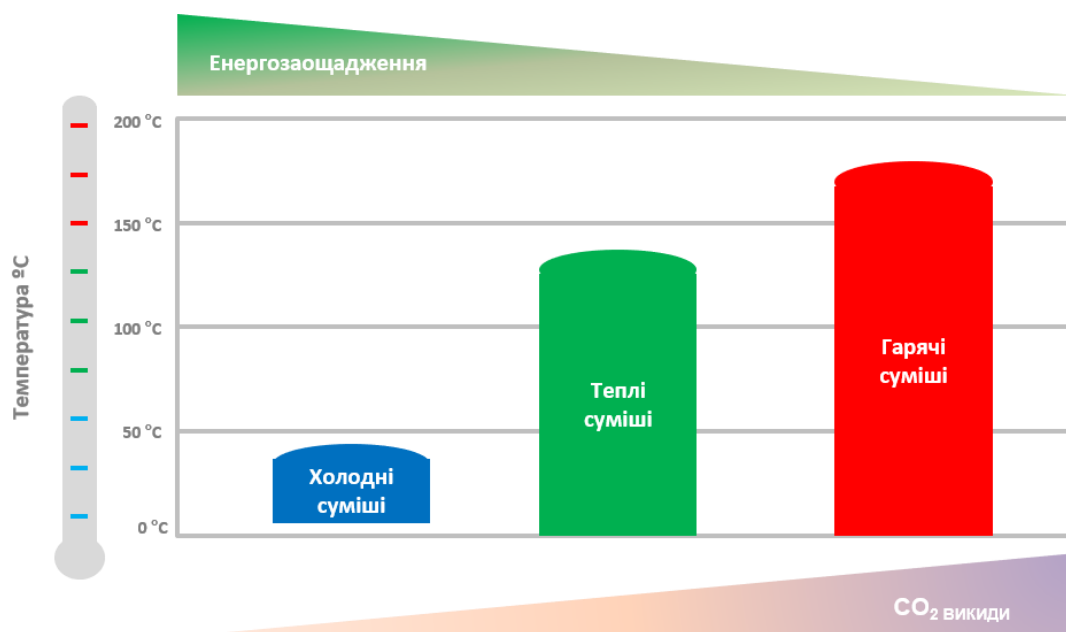


Рисунок 1.1 – Класифікація асфальтобетонних сумішей за температурою виробництва [5]

За останнє десятиліття виробництво теплих асфальтобетонних сумішей суттєво збільшилося. Цьому сприяли такі основні фактори, як підвищення екологічної безпеки, зниження енерговитрат на виробництво суміші, підвищення довговічності та збільшення часових інтервалів виробництва асфальтобетонних сумішей [6 – 16].

Перші спроби приготування теплих асфальтобетонних сумішей спіненим бітумом були проведені в 1956 професором Ладісом Цаньї в Університеті штату Айова (США). З того часу технологія спінювання бітуму застосовувалася в багатьох країнах, у тому числі в США, Австралії та Європі [6].

Технологія АСТ у теперішньому розумінні була розроблена в Європі та вперше представлена на Бітумному форумі у Німеччини у 1997 році, у доповідях на конференції у Сіднеї та конгресі «Євробітум» 2000 р. [2], [17].

Нові технології приготування теплих асфальтобетонних сумішей були використані в Європі після того, як Європейський Союз прийняв рішення про скорочення викидів вуглекислого газу на 15% до 2010 року відповідно до Кіотського протоколу, який є додатковим документом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату 1992 року. АСТ можуть знизити викиди парникових газів приблизно на 33% порівняно з АСТ та споживання енергії на етапі виробництва приблизно на 18% [8, 18]. Збереження вичерпних ресурсів, зменшення споживання енергії та викидів парникових газів є найважливішими цілями використання АСТ. Перші експериментальні ділянки із застосуванням нових технологій приготування теплих асфальтобетонних сумішей були побудовані в Німеччини та Норвегії в період з 1995 по 1999 рік [2, 19].

У 2002 році Національною асоціацією асфальтобетонних покриттів США (NAPA) була організована програма з вивчення європейської досвіду застосування нових технологій приготування теплих асфальтобетонних сумішей, у рамках якої провідні американські фахівці відвідали низку європейських країн та вивчали їхній досвід. За підсумками вивчення європейського досвіду застосування нових технологій для приготування теплих асфальтобетонних сумішей, Федеральне управління автомобільних доріг (FHWA) визначило їх впровадження у дорожню промисловість США як одне з пріоритетних завдань [20].

Незважаючи на те, що перелік рішень АСТ є відносно широким, і їх функціональні можливості можуть відрізнятися багатьма способами, вони поділяють ті самі цілі, що полягають у зниженні в'язкості в'язучого, покращенні фізико-механічних властивостей асфальтобетонних сумішей. У рамках цієї мети можна визначити кілька цілей, таких як покращення екологічної стійкості, зниження споживання енергії та кращі фізико-механічні властивості [2]. Економічна доцільність нижчої температури виробництва асфальтобетонних сумішей прямо пропорційна зниженню споживання енергії [3, 21-32], що зменшує фінансові затрати [33-35]. Виробництво та укладання покриттів АСТ є

вигідними, оскільки вони дозволяють зменшити в'язкість суміші та полегшити ущільнення [36-44], використовувати асфальтобетонну крихту (RAP) [27–30], а також забезпечити кращі умови праці та здорове робоче середовище.

Результати попередніх досліджень різних технологій виробництва АСТ показали, що фізико-механічні властивості сумішей АСТ можуть бути щонайменше ті ж самі що і АСТГ. Це можливо завдяки найчастіше кращій рухливості і, як наслідок, кращого ущільнення, що може бути досягнуто з їх використанням [27].

Однак, незважаючи на те, що нижчі температури є багатообіцяючими, вони все-таки недостатньо вивчені. Тому потрібні більш широко дослідити довгострокові властивості асфальтобетонних шарів дорожнього одягу із АСТ, економічну ефективність та експлуатаційні характеристики улаштованих шарів.

1.2 Огляд основних технологій виробництва теплих асфальтобетонних сумішей

Технології виробництва теплих асфальтобетонних сумішей можна класифікувати за кількома ознаками [19 – 21].

Перша ознака – це величина зниження температури. Залежно від технології температура приготування теплих асфальтобетонних сумішей коливається від 10-20 °С зниження порівняно із гарячими сумішами до температури приготування дещо більшої за 100 °С, а для окремих технологій характерні температури нижче точки кипіння води.

Інший критерій класифікації теплих асфальтобетонних сумішей – принцип, який застосовується для зниження температури. Такий спосіб класифікації дає можливість більш детально описати кожен з технологій. В існуючій літературі жодної загальноприйнятої класифікації сучасних теплих технологій не значиться. Наведена нижче класифікація сформована після аналізу та огляду ринку теплих технологій, а також шляхом узагальнення фізичних процесів, що відбуваються в суміші при реалізації того чи іншого способу приготування теплих асфальтобетонних сумішей [19, 45].

Загалом, усі теплі технології можна поділити на три групи:

- 1 Технології, в основу яких покладено процес спінення.
- 2 Технології, що базуються на використанні органічних домішок.
- 3 Технології, в яких застосовуються хімічні домішки.

Усі існуючі способи приготування теплих асфальтобетонних сумішей використовують принаймні одну із вищезазначених технологій, хоча також можливе і об'єднання декількох.

Спінювання в'язкого холодною водою або парою

В основу усіх технологій даної підгрупи покладено процес спінювання шляхом введення холодної води або пари в гарячий в'язкий бітум. Існують декілька способів спінювання бітумів [45]:

– спінювання і розпилення бітуму гарячою водою або парою, отриманими в парогенераторах чи централізовано по системі теплопостачання (диспергаційний спосіб);

– спінювання і розпилення попередньо обводненого бітуму за рахунок збільшення тиску при його нагріванні до температури вище 100 °C в спеціальному герметичному підігрівачі перед подачею в мішалку; в цьому випадку можуть бути використані і необезводнені бітуми (конденсаційний спосіб);

– спінювання і розпилення бітуму гарячою водою і (або) парою, приготування яких здійснюється паралельно з нагріванням бітуму в бітумоплавильному агрегаті пропусканням води по трубчастому теплообміннику.

Для кожного із наведених способів використовується спеціальне обладнання. При реалізації кожного із способів утворюється велика кількість бітумної піни з відносно тривалим періодом розпаду, якого цілком достатньо, щоб забезпечити повне та рівномірне обволікання зерен мінеральних матеріалів тонкими бітумними плівками.

На рисунку 1.2 наведено загальний вигляд обладнання для спінення бітуму.

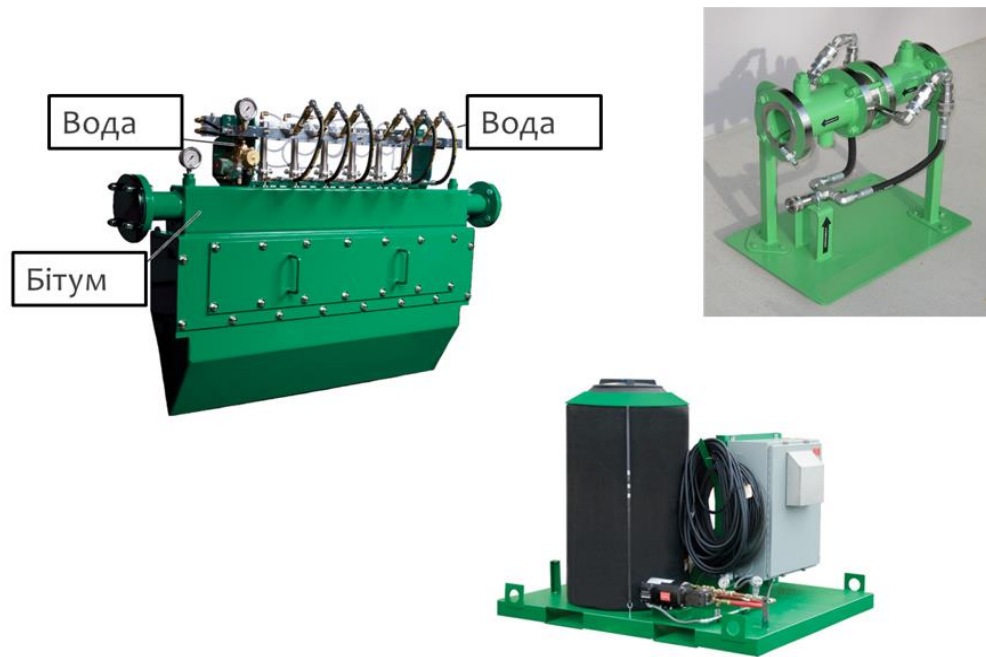


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд обладнання для спінення бітуму

Double Barrel Green, Ultrafoam GX, Aquablack WMA, Warm Mix Asphalt System

У всіх цих технологіях використовуються форсунки певного типу для введення холодної води в бітум. Технологічне обладнання для кожної розроблено різними компаніями. Робота усіх форсунок контролюється комп'ютером для отримання потрібної кількості піни. Введена вода перетворюється на пар, частинки якого швидко проникають в бітум, що призводить до спінення та значного збільшення органічного в'язучого в об'ємі. В процесі цього суттєво знижується в'язкість бітуму, тому рівномірне обволікання частинок мінерального матеріалу може проводитись при нижчих температурах [46].

Low Energy Asphalt

Дана технологія передбачає використання вологого дрібного заповнювача. Економія енергоресурсів реалізується за рахунок того, що для перетворення води на пару необхідно в п'ять разів більше енергії ніж для нагріву мінерального матеріалу до температури 100 °C. Крупні мінеральні матеріали та частина дрібних нагріваються до температури приблизно 150 °C, як і при виготовленні

гарячих асфальтобетонних сумішей, а потім перемішуються з органічним в'язучим, яке містить добавки, що покращують адгезію та якість обволікання. Після цього в отриману суміш вводиться холодний та вологий дрібний заповнювач, виконується змішування. Волога, що міститься в дрібних частинках мінерального матеріалу призводить до спінювання в'язучого. Утворена піна забезпечує якісне обволікання бітумом частинок дрібного заповнювачу [46]. Така технологія широко застосовується протягом останніх років, але, не зважаючи на досить гарні результати, все ж бракує даних по характеру поведінки таких покриттів в країнах з більш помірним кліматом.

Low Emission Asphalt

Дана технологія є подальшим розвитком технології *Low Energy Asphalt*. В ній застосовується поєднання процесів спінювання з використанням води та хімічних домішок. Технологічна схема процесу наступна: крупні мінеральні матеріали змішуються із органічним в'язучим, яке містить певні хімічні домішки, потім в суміш вводиться вологий пісок, що призводить до утворення піни [47].

WAM-Foam

Технологія *WAM-Foam* дещо відрізняється від інших. В ній реалізована система, що використовує бітуми двох різних марок. В процесі приготування почергово використовуються бітум невисокої в'язкості та спінений високов'язкий бітум. Мінеральні матеріали нагріваються до температури близько 130 °C, потім вводиться бітум невисокої в'язкості, частка якого від загальної кількості органічного в'язучого становить, як правило, 20-30%. Високов'язкий спінений бітум (спінення виконується водою в кількості 2-5% від маси в'язкого бітуму) вводиться в отриману суміш при температурі, що становить близько 180 °C. Обробка кам'яних матеріалів малов'язким бітумом сприяє якісному адсорбуванню в'язучого на поверхні мінеральних матеріалів, що є проблемним для в'язких бітумів при понижених температурах [46].

LT Asphalt

За даної технології процес спінення бітуму реалізується з використанням спеціальних форсунок безпосередньо перед введенням в'язучого в змішувальну установку, в якій знаходяться нагріті до температури 90 °C мінеральні матеріали. Для того, щоб контролювати процес перетворення зв'язаної вологи на піну, вводиться спеціальна гідрофільна добавка в кількості 0,5-1,0% [46].

Застосування органічних добавок

В цій групі технологій органічні добавки використовуються для зниження температурних режимів приготування та укладання асфальтобетонної суміші шляхом зниження в'язкості бітуму. В'язкість зменшується при нагріванні вище температури плавлення восків, які вводяться у якості добавки. Це робить можливим приготування сумішей за нижчих температур. При охолодженні і, відповідно, кристалізації віск підвищує жорсткість бітуму, а отже і опір пластичним деформаціям асфальтобетону.

Дані технології дозволяють суттєво покращити якість отриманого асфальтобетону, тому що в загальному всі технології даної групи передбачають утворення в асфальтобетоні додаткової структурної решітки, яка покращує пружні властивості матеріалу. Крім того, завдяки зниженню температури приготування суміші знижується і рівень окислення в'язучого, що дозволяє підвищити термін служби асфальтобетонного покриття.

Слід серйозно підійти до питання вибору типу воску. Його температура плавлення повинна бути більшою ніж очікувана максимальна температура покриття при експлуатації, в той же час необхідно мінімізувати крихкість асфальтобетону при низьких температурах [48].

Sasobit виробництва компанії «SASOL WAX» являє собою аліфатичний вуглеводень, в якому довжина ланцюга молекул становить 40-115 атомів вуглецю. На відміну від *Sasobit* довжина молекулярних ланцюгів парафінів, що зазвичай присутні в бітумах, становить 22-45 атомів вуглецю. Цим пояснюється суттєва відмінність фізичних властивостей продукту *Sasobit* від парафінів, які присутні в бітумах. Температура плавлення становить 85-115 °C. Також для

нього характерна висока в'язкість при низьких температурах та низька при високих. В процесі охолодження кристалізація воску починається при температурі 105 °С і закінчується при 65 °С [48].

Об'єднання органічного в'язучого із структуруючою добавкою Sasobit призводить до отримання нового в'язучого, для якого характерний новий комплекс властивостей, що відрізняють його від звичайного бітуму. Отриманий бітум характеризується наявністю в ньому просторової структурної решітки, що утворюється молекулами добавки. Наявність даної решітки обумовлює підвищену еластичність та міцність матеріалу в широкому діапазоні температур.

Добавка Sasobit введена в бітум в кількості 3% з масою бітуму знижує температуру його розм'якшення на 20-35 °С, а penetрація знижується на 15-25·1/10 мм.

Asphaltan A та *Romonta N* – це так звані воски Монтан з температурою твердіння 78 °С та 125 °С відповідно. Це важкі воски, які отримуються в результаті розчинення певних видів кам'яного та бурого вугілля. Вони мають схожий з воском Фішера-Тропша вплив на асфальтобетонну суміш. Застосовувалися в Німеччині в якості добавки для масткового асфальтобетону, тому що можуть в значній мірі змінювати консистенцію бітуму та покращувати адгезію між органічним в'язучим та мінеральними матеріалами [49].

Asphaltan B

Це очищений віск Монтан, змішаний із амідами жирних кислот. Температура плавлення нижче 100°С [48]. Подібно до восків Фішера-Тропша ця добавка зменшує в'язкість бітуму при низьких температурах, хоча і в меншій мірі, ніж воски Фішера-Тропса. Згідно заявам виробника введення даної домішки дозволяє покращити зручність укладання суміші, покращити опір до коліє утворення та опір до негативного впливу вологи.

На рисунку 1.3 наведено загальний вигляд добавок *Asphaltan A* та *Asphaltan B*.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд добавок Asphaltan A та Asphaltan B .

Licomont BS 100 – це амід жирних кислот. Ця добавка виробляється штучно шляхом взаємодії амінів та жирних кислот. Температура плавлення як правило становить 140-145 °С, а температура затвердівання – 105-115 °С. Згідно [49] введення даної добавки в органічне в'язуче в кількості 3% підвищує його температуру розм'якшення на 40-45 °С. В процесі охолодження амідів жирних кислот також утворюють кристали, які надають бітуму підвищеної жорсткості, а penetрація зменшується на 10-15·1/10 мм [48].

Використання спеціальних хімічних речовин

Evotherm ET

В технології *Evotherm ET* застосовується комплекс хімічних речовин, який складається із емульгаторів та спеціальних добавок, основна задача яких покращити якість обволіканні мінеральних матеріалів, зручноукладальність та ущільнювальність суміші. Добавка *Evotherm* складає до 30% від маси бітуму і сприяє зниженню його в'язкості при понижених температурах змішування, забезпечуючи повне обволікання мінеральних матеріалів. Ця технологія реалізується з використанням бітумної емульсії. Для мінеральних матеріалів різного походження виробляються різні за своїм складом комплекси хімічних речовин. Основна кількість води, яка наявна в емульсії випаровується в процесі змішування із мінеральними матеріалами. Ця технологія дозволяє зменшити температуру приготування суміші на 30% [48].

Evotherm DAT

За технології *Evotherm DAT* застосовується той же набір хімічних речовин, але розбавлений невеликою кількістю води, яка вводиться в органічне в'язуче перед змішувальною камерою. Ця технологія дозволяє знизити в'язкість бітуму при понижених температурах змішування, що дозволяє забезпечити повне та рівномірне обволікання мінеральних матеріалів в'язучим. Зниження температури може складати до 30% [48].

Evotherm 3G

Ця технологія є різновидом технології *Evotherm*, але в своєму складі зовсім не містить води. Добавка *Evotherm-3G* дозволяє випускати асфальтобетон *McAsphalt-Evotherm* за температури на 50°С нижчій, ніж при приготуванні гарячих асфальтобетонних сумішей, а також замінювати до 45 % мінеральної складової суміші старим подрібненим асфальтобетоном із зношених покриттів [50].

Рекомендовані виробником температури приготування *McAsphalt-Evotherm* складають 115 - 130 °С, укладання – 110 - 125 °С, ущільнення – 105 - 115 °С. Допускається зниження вказаних температур відповідно до 98 °С, 92 °С та 90 °С.

При використанні стандартного щебеню, піску та мінерального матеріалу вміст добавки «*Evotherm-3G*» складає 0,3 % від маси бітуму, при частковій заміні мінерального матеріалу старим асфальтобетоном – 0,5 % [48].

Добавка вводиться в бітум за температури 150-165 °С та перемішується з ним протягом 30 хвилин [50].

Окрім знижених температур та додаткових операцій по додаванню добавки і подаванню подрібненого старого асфальтобетону технологія приготування *Evotherm 3G* аналогічна приготуванню гарячого асфальтобетону [50].

Rediset WMX – це модифікатор реологічних властивостей органічного в'язучого на основі катіонних поверхнево-активних речовин та органічних домішок. Використання цієї технології дозволяє покращити адгезію між в'язучим та мінеральним матеріалом. Інші компоненти даної домішки знижують

в'язкість бітуму при нижчих температурах виготовлення суміші. Rediset WMX постачається у вигляді гранулята і не містить в своєму складі води. При введенні даної домішки в кількості 1,5-2% за масою бітуму досягається зниження температури приготування суміші порівняно із гарячими асфальтобетонними сумішами на 15-30 °C без погіршення їх властивостей [51].

REVIX – це хімічна добавка, яка для зниження температури приготування та ущільнення суміші не використовує спінення, або зниження в'язкості органічного в'язучого. Дана технологія заснована на використанні великої кількості поверхнево-активних речовин, восків, технологічних кислот, полімерів та інших речовин. Вона дає можливість досягти зниження температури в порівнянні із гарячими сумішами на 15-27 °C [52].

LowTherm® 4G – енергозберігаюча добавка для приготування теплих асфальтобетонних сумішей, що має унікальні характеристики, так як вона не класифікується як небезпечна для здоров'я людини або для довкілля, а її використання забезпечує незвичайну пластичну рухливість та високий показник зчеплення бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів.

LowTherm® 4G виготовлено зі спеціальної поверхнево-активної речовини, використання якої дозволяє змінити поверхневий натяг бітуму, за рахунок чого досягається повне покриття мінеральної частини в'язучим і разом із тим, поліпшується рухливість (зміна пластичності) асфальтобетонної суміші, навіть при низьких температурах навколишнього середовища.

LowTherm® 4G додають безпосередньо до змішувача асфальтобетонного заводу разом із бітумним в'язучим (паралельно) на етапі виробництва асфальтобетонних сумішей, використовуючи при цьому автоматичну систему дозування. В якості альтернативи, його можна додавати безпосередньо до резервуара для зберігання бітуму під час його завантаження (зливу). У випадку, якщо резервуар для зберігання бітуму не оснащено змішувачем, цю операцію потрібно проводити так, щоб добавка додавалась у той же час, що й бітум. Наприкінці операції зливу, необхідно переконатись в тому, що було додано належну кількість добавки до резервуара для зберігання. Використання

автоматичної системи дозування є набагато вигіднішим технологічним процесом, так як дає змогу уникнути модифікації всього бітуму, що зберігається у резервуарі, а також дає більшу гнучкість виробничому процесу, дозволяючи при цьому варіювати дозування LowTherm® 4G залежно від типу асфальтобетонної суміші, що виготовляється, в тому числі при виробництві відновлених (регенерованих) сумішей (RAP) [53].

На рисунку 1.4 наведено загальний вигляд добавки LowTherm® 4G.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд хімічних добавок

Варто зазначити, що застосування хімічних чи органічних добавок у більшості випадків не вимагає проведення додаткових модернізацій вузлів АБЗ, оскільки дозування добавок може відбуватися через встановлений блок дозаторів [54].

У даний час США є лідерами у світі по виробництву АСТ. За результатами дослідження проведеного в 2022 році Національної асоціації асфальтобетонних покриття США (NAPA) спільно з Федеральним управлінням автомобільних доріг (FHWA) 33,9 % від загального обсягу випущених асфальтобетонних сумішей в США припадає на АСТ [55].

На рисунку 1.5 наведено статистика загальної кількості АСТ, виготовлених у США у період з 2013 – 2020 р.

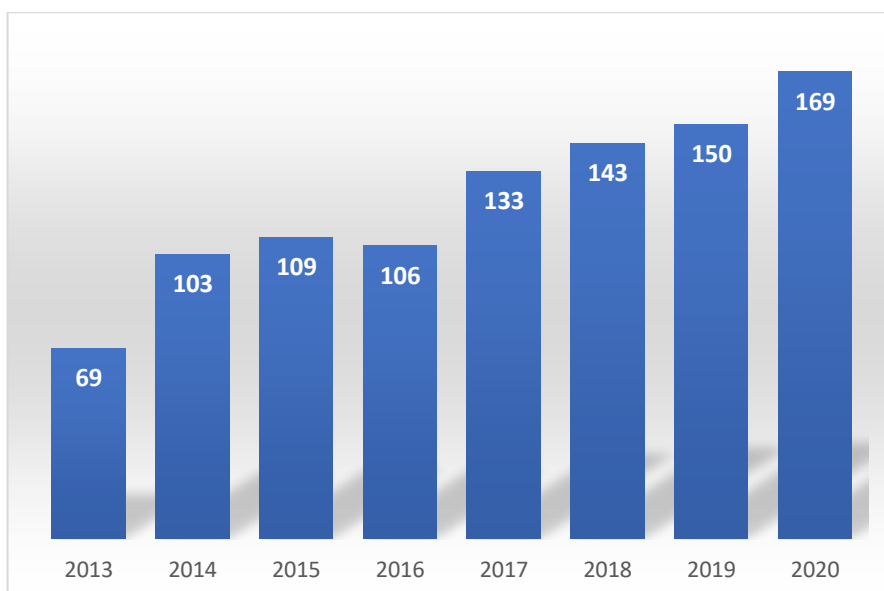


Рисунок 1.5 – Статистика загальної кількості АСТ, виготовлених у США (млн. тон)

На рисунку 1.6 наведено відсоткове співвідношення АСТ від загальної кількості асфальтобетонних сумішей, виготовлених у США у період з 2013 – 2020 р.

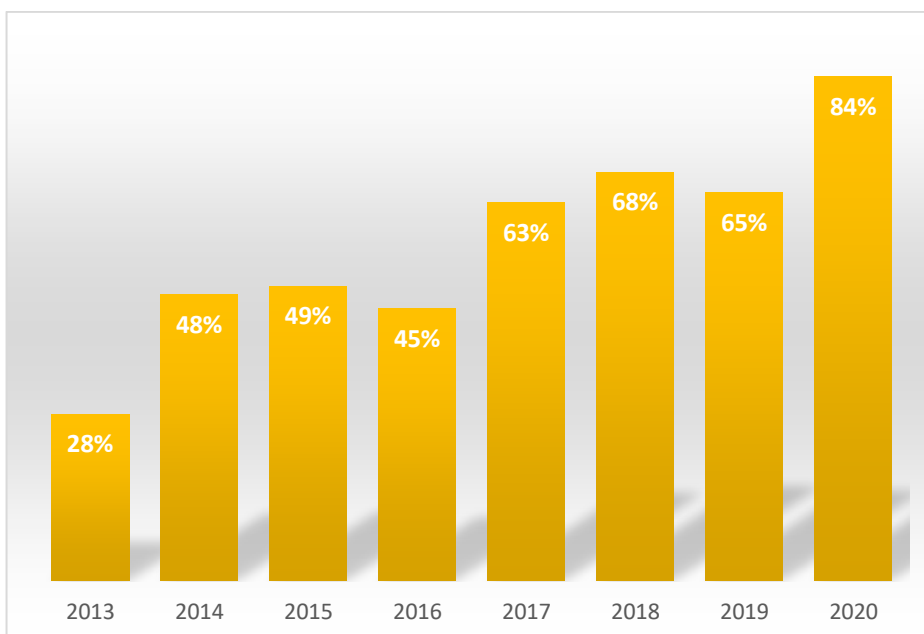


Рисунок 1.6 – Відсоткове співвідношення АСТ від загальної кількості асфальтобетонних сумішей, виготовлених у США у період з 2013 – 2021 р.

Частка АСТ, швидко збільшилася в період будівельних сезонів з 2013 до 2018 року, але поступово знизилася з 68 % у 2018 році до 65 %

у 2019 році і знову виросла на рівень 84 % у будівельний сезон 2020 року. За будівельний сезон 2020 р. виробництво АСТ збільшилося на 19 % до 169 млн. тон.

У 2020 році в 23 штатах виробництво АСТ склало більше половини від загального обсягу виробництва асфальтобетонних сумішей [55].

Технологія спінення залишається найбільш часто застосовуваною під час виробництва АСТ і становить близько 49 % від виробництва всіх АСТ, виготовлених в 2020 році. Це приблизно на 1,8 % менше, ніж у сезоні 2019 року. Застосування хімічних добавок постійно зростає та встановлено на рівні 46,6 % в будівельному сезоні 2020 року. На долю органічних добавок припадає 1,6 % ринку.

У таблиці 1.1 наведена частка різних технологій приготування АСТ за період з 2013 до 2020 років у США.

Таблиця 1.1 – Частка різних технологій приготування АСТ за період з 2013 до 2020 років у США.

Технології приготування	Виробництво АСТ, роки							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Спінення водою, %	87,0	84,5	72,0	76,9	64,7	63,2	51,0	49,2
Добавки що містять воду, %	0,3	0,0	2,1	0,0	0,0	0,	0,0	2,6
Хімічні добавки, %	12,1	15,0	25,2	21,1	32,2	34,3	48,3	46,6
Органічні добавки, %	0,0	0,5	0,7	1,9	3,1	1,8	0,7	1,3

За результатами опитування 184 компаній в 46 штатах повідомили, що виготовляють АСТ. З них 89 виробників повідомили про виробництво АСТ, як за зниженої температури, так і за температури, що відповідає температурі виготовлення АСГ. 60 виробників випускають суміші тільки при знижених температурах, 35 виробників випускати суміш тільки при температурах, що відповідають АСГ.

[illegible]

Кінець таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	10
Литва	1,3	1,3*	1,3*	1,6	1,6	1,6*	1,6*	1,6*	1,6*	1,6*	1,6*
Люксембург	0,6	0,7	0,7*	0,7	0,7*	0,9	0,9*	0,9*	0,9*	0,9*	0,9*
Мальта	-	-	-	-	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*
Нідерланди	9,2	9,7	9,0	8,0	8,2	8,1	7,9	7,7	7,1	7,2	6,2
Норвегія	6,3	6,4	7,0	6,9	7,2	7,8	7,5	7,7	6,9	6,9	6,4
Польща	21,1	18,2	16,5	18,5	19,0*	19,0*	19,0*	19,0*	19,0*	19,0*	19,0*
Португалія	6,4*	6,4*	6,4*	6,4*	6,2*	6,2*	6,2*	3,1	3,4	4,0	3,1
Румунія	3,2	4,1	4,5	4,5*	4,5*	4,5*	4,5*	1,7	1,0	1,0*	1,1
Сербія	-	-	1,3	1,3	1,3*	1,3*	1,3*	1,3*	1,3*	1,3*	1,3*
Словаччина	1,9	1,6	1,5	2,7	1,9	2,0	2,3	2,4	2,2	2,4	2,5
Словенія	1,1	1,2	1,4	1,6	1,6	1,8	2,0	1,9	1,9	2,1	2,1
Іспанія	19,5	13,2	14,5	16,4	13,1	15,2	16,0	18,8	17,1	18,9	17,1
Швеція	7,7	7,6	8,5	8,2	8,2*	8,2*	8,2*	8,2*	8,2*	8,2*	8,2*
Швейцарія	4,8	4,8	6,5	6,5*	6,5*	6,5*	6,5*	5,5	5,5*	5,5*	5,5*
Турція	38,4	46,2	30,9	37,9	40,4	46,9	41,7	32,7	31,7	30,3	30,1

Дані щодо виробництва теплих асфальтобетонних сумішей в період з 2012 по 2022 рік в кожній європейській країні вказані в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Виробництво асфальтобетонних сумішей в країнах Європи, МЛН. Т.

Країна	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Австрія	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	0,150
Бельгія	-	-	<0,05	-	<0,050	0,100	0,200	0,300	4,630*	0,167
Хорватія	0,0	0,040	0,060	0,060	-	-	-	0,075	0,080	0,080
Чехія	0,030	0,001	0,020	0,007	0,070	0,080	0,001	0,001	0,010	0,010
Данія	0,120	0,200	0,200	0,250	0,340	0,330	0,320	0,320	0,330	0,310
Естонія	-	-	-	-	-	-	-	-	0,015	0,001
Фінляндія	0,0	0,120	0,240	0,310	0,430	0,310	0,200	0,200	0,200	-
Франція	3,550	4,023	4,552	4,324	3,824	3,728	4,305	4,058	6,520	7,795
Німеччина	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,500*
Англія	<1,0	<1,0	-	<0,300	<1,0	<1,0	>1,0	1,0	1,0*	>1,500*
Угорщина	0,020	0,038	0,070	0,208	0,210	0,0	0,180	0,350	0,0	0,014
Ірландія	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,200
Нідерланди	0,060	0,133	0,100	0,100*	0,060	-	-	-	-	-
Норвегія	0,380	0,540	0,592	0,502	0,869	1,339	1,740	1,851	1,754	1,687
Португалія	-	-	-	-	-	-	0,100	0,500	1,010	0,200
Словаччина	-	-	0,014	0,035	0,050	0,030	0,035	0,004	0,011	0,100*
Словенія	0,0	0,0	0,0	0,0	0,050	0,002	0,0	0,040	0,001	0,160
Іспанія	0,086	0,140	0,140	0,060	0,200	0,180	0,380	0,500	0,650	0,450
Швейцарія	0,870	0,388	-	-	-	-	0,500	-	-	-
Турція	-	-	0,080	0,151	0,077	0,0	0,0	0,0	0,0	0,130

На рисунку 1.7 наведено статистика загальної кількості АСТ, виготовлених у ЄС у період з 2013 – 2022 р.

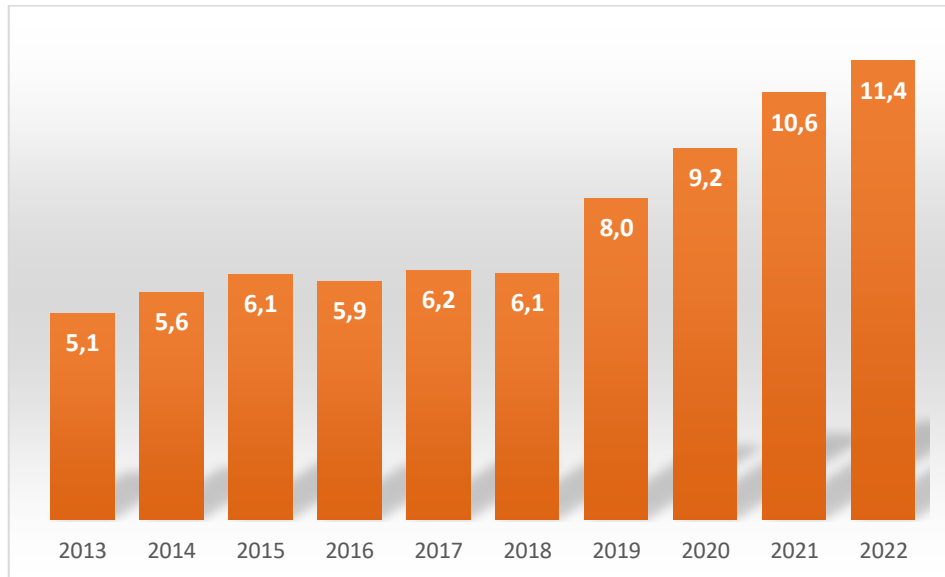


Рисунок 1.7 – Статистика загальної кількості АСТ, виготовлених у країнах Європи (млн. тон)

Із графіку, наведеного на рисунку 1.6 можна спостерігати, що частка виробництва АСТ у країнах Європи постійно збільшується [55].

Точні дані щодо використання тієї чи іншої технології із виробництва теплих асфальтобетонних сумішей в статті не вказано, але Більшість теплих асфальтобетонних сумішей в Європі виробляються з використання хімічних або органічних добавок.

Найбільш широко використовувані та доступні на ринку теплих технологій продукти та їх характеристики наведені у таблиці 1.6. Також в ній приведені дані щодо країн, де безпосередньо досліджувалися ті чи інші технології. Так як в різних дослідницьких роботах відзначені різні температури приготування сумішей для однієї технології, в таблиці спочатку наведені значення, що були названі виробником даного продукту, а потім – температури, наведені в дослідницьких роботах. Невідповідність даних у різних джерелах може бути викликана низкою факторів, наприклад, типом та кількістю використаних домішок, вологістю матеріалів, методом проектування сумішей, кліматичними умовами, мінеральним матеріалом, який використовувався тощо. Кількість

домішок у теплих асфальтобетонах зазвичай залежить від використаних пропорцій матеріалів та марки бітуму [6].

Таблиця 1.6 – Короткий опис технологій виробництва теплих асфальтобетонних сумішей

Назва	Компанія виробник	Короткий опис	Країни, де проводилися дослідження	Наявність та вид домішок	Температура приготування суміші (зниження температури)
1	2	3	4	5	6
Технології спінення					
Aquablack WMA	MAXAM equipment	Технологія, заснована на спінюванні водою	США	Відсутні	Інформація відсутня
Double Barrel Green	Astec	Технологія, заснована на спінюванні бітуму водою	США	За необхідності для покращення адгезії	116-135 °C* ¹ 120 °C
Low Energy Asphalt	LEACO	Технологія заснована на використанні води. Гарячий крупний заповнювач змішується із вологим піском	США, Франція, Іспанія, Італія.	Так, 0,5% домішки за масою бітуму для покращення адгезії та обволікання	≤100 °C 105-124 °C
Ultrafoam GX	Gencor Industries	Технологія, заснована на спінюванні бітуму водою	США	Відсутні	Інформація відсутня
WAM-Foam	Shell та Kolo-Viedekke	Технологія, заснована на використанні бітумів двох марок та спінюванні одного з них	США, Норвегія	Домішка для покращення адгезії	110-120 °C 100-120 °C 62 °C
Warm Mix Asphalt System	Terex Road-building	Технологія, заснована на спінюванні водою бітуму	США	Відсутні	(>32 °C)
LEAB	BAM	Технологія передбачає використання води. Змішування мінеральних матеріалів при температурі нижче 100 °	США	Відсутні	(90 °C)

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6
Advera	PQ Corporation	Основа - це вода, що міститься в цеоліті	США	0,25% домішки за масою суміші	(10-20 °C) (20-30 °C)
Aspha-Min	Eurovia	Основа - це вода, що міститься в цеоліті	США, Франція, Німеччина	0,3% домішки за масою суміші	(30 °C) (12 °C) (20-30 °C)
Технології на основі органічних домішок					
Sasobit	Sasol	Віск Фішера-Тропша	США, Європа	2,5-3,0% за масою бітуму в Німеччині 1-1,5% за масою бітуму в США	(10-30 °C) (20-30 °C) (18-54 °C) 130-150 °C
Asphaltan A Romonta N	Romonta Gmbh	Віск Монтан для мастикового асфальтобетону	Німеччина	1,5-2,0% за масою бітуму	(20 °C)
Asphaltan B	Romonta Gmbh	Покращений віск Монтан з амідами жирних кислот	Німеччина	2-4% за масою суміші 2,5 за масою суміші	(20-30 °C)
Licomont BS 100	Clariant	Аміди жирних кислот	Німеччина	3% за масою бітуму	(20-30 °C)
3E LT або Ecoflex	Colas	Запатентовано	Франція	Так, але конкретні дані відсутні	(30-40 °C)
Технології на основі хімічних домішок					
Evotherm ET	Mead-Westvaco	Бітумна емульсія на спеціальних хімічних речовинах	США, Франція	Постачається у вигляді готової бітумної емульсії	(50-75 °C) (37-54 °C) >93 °C 85-115 °C
Evotherm DAT	Mead-Westvaco	Набір хімічних добавок та вода	США, Франція	30% за масою бітуму	(45-55 °C) >93 °C 85-115 °C
Evotherm 3G	Mead-Westvaco	Хімічні добавки без води	США	Інформація відсутня	(33-45 °C) (15-27 °C)
CECABASE RT	CECA Arkema group	Набір хімічних добавок	США, Франція	0,2-0,4% за масою суміші	120 °C 101 °C

Кінець таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6
Rediset WMX	Akzo Nobel	Катіонні ПАР та органічна домішка	США, Норвегія	1,5-2% за масою бітуму	(≥ 30 °C) (16 °C) 126 °C
REVIX	Mathy-Ergon	ПАР, воски, технологічна кислота, полімери	США	Інформація відсутня	(15-26 °C)

На сьогодні у світі експлуатуються асфальтобетонні заводи двох типів: циклічної та безперервної дії. Слід зауважити, що в європейських країнах більш поширеними є заводи циклічної дії, тому більшість додаткового устаткування розроблялась саме для них. Щоб технології теплих асфальтобетонів були економічно виправданими, їх реалізація повинна здійснюватися на основі існуючих виробничих баз та заводів з виготовлення гарячих асфальтобетонних сумішей [6].

В таблиці 1.7 зведена основна інформація щодо додаткового обладнання АБЗ для виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей [6].

Таблиця 1.7 – Короткі відомості по технологіям виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей

Назва технології	Продукція та обладнання, що постачається виробником	Необхідні конструктивні зміни асфальтобетонних заводів
1	2	3
Double Barrel Green	Устаткування готове до монтажу	Бак для води, система введення води зі спінуючими форсунками
Aquablack WMA	Устаткування готове до монтажу	Форсунки для спінування, водний насос, система дозування та пульт керування
Warm Mix Asphalt system	Устаткування готове до монтажу	Бак для води, водний насос, система дозування води, камера розширення для піни з кількома форсунками. Система придатна лише для заводів безперервної дії.
LEAB	Набір форсунок	Шість форсунок для розпилення води та камера розширення інтегрується в систему подачі бітуму

Продовження табл. 1.7

1	2	3
Low Energy Asphalt	Устаткування готове до монтажу	Живильний бункер для вологого дрібного мінерального матеріалу з системою дозування, система зволоження, насос та система дозування для домішок, зміна тривалості змішування
Advera	Цеоліт у вигляді порошку	Удосконалення обладнання для введення фібри або встановлення додаткового обладнання, що постачається виробником
Sasobit	Сипучий матеріал у формі гранул, розфасований по 2, 5 та 20 кг, в Німеччині готовий бітум	Удосконалення обладнання для введення фібри або пневматичний насос для введення добавки, обладнання для змішування добавки із гарячим в'язким. У випадку введення домішки безпосередньо в змішувач необхідно скоригувати час змішування. Якщо постачається у вигляді готового бітуму жодних змін на заводі не потрібно.
WAM-Foam	Форсунка з камерою розширення, обладнання для подачі бітуму	Встановлюється окрема лінія подачі бітуму з системою введення води, форсунка для введення високов'язкого бітуму в суміш
Asphaltan B	Гранульований матеріал розфасований по 25 кг	Необхідне встановлення вагового дозатору або пневматичного конвеєру для введення добавок в суміш.
Evotherm	Бітумна емульсія із концентрацією бітуму 70%	Жодних змін на асфальтобетонному заводі не потрібно
Evotherm DAT	Набір хімічних речовин в рідкому вигляді	Бак для зберігання добавки, бітумний насос, труби з підігрівом для з'єднання із системою введення бітуму в суміш
Evotherm 3G	Інформація відсутня	Необхідно обладнати баки для зберігання бітуму змішувальними пристроями.
Aspha-min	Домішка у формі порошку або гранул розфасовані по 500 та 1000 кг	Необхідно встановлення вагового дозатору, пристосованого конвеєру для подачі фібри або пневматичного конвеєру для введення добавки

Кінець табл. 1.8

1	2	3
Licomont BS 100	Гранули в упаковках по 25 та 500 кг	Необхідно встановлення вагового дозатору, пристосування конвеєру для подачі фібри або пневматичного конвеєру для введення добавки
Rediset WMX	Гранули в упаковках по 25 та 500 кг	При змішуванні бітуму із домішкою на нафтопереробному заводі жодних змін асфальтобетонного заводу не потрібно. Можна вводити в бітум на асфальтобетонному заводі при наявності обладнання для змішування, можна вводити безпосередньо в суміш за допомогою пневматичного конвеєру
REVIX	-	При змішуванні бітуму із домішкою на нафтопереробному заводі жодних змін асфальтобетонного заводу не потрібно. Можна вводити в бітум на АБЗ при наявності обладнання для змішування, можна вводити безпосередньо в суміш за допомогою пневматичного конвеєру

Список технологій приготування теплих асфальтобетонних сумішей досить широкий. Кожна технологія має свої переваги і недоліки.

Механічне спінювання вважається найбільш економічно вигідною технологією, без урахування витрат на перших етапах робіт на закупівлю необхідного обладнання.

Застосування піноутворюючих добавок збільшує піноутворюючий ефект і дозволяє транспортувати теплі асфальтобетонні суміші для більш далеких відстаней, але при цьому вимагають постійні витрати на їх придбання.

Використання органічних добавок збільшує відстань транспортування, а також підвищується жорсткість асфальтобетонної суміші, тим самим підвищує зсувну стійкість суміші, але в той же час може зменшити тріщиностійкість суміші. Постійні витрати також необхідні для їх придбання.

Використання хімічних добавок збільшує дальність транспортування і покращують адгезійні властивості суміші, але і вимагають постійної витрати на їх придбання [6].

1.3 Мета та задачі досліджень

Аналітичний огляд існуючого закордонного досвіду використання теплих асфальтобетонних сумішей дає змогу сформулювати наступну **гіпотезу**:

- з урахуванням того, що вартість виготовлення асфальтобетонних сумішей значно залежить від витрат енергоресурсів на розігрів компонентів під час перемішування, зменшення температури дасть змогу зменшити витрати енергоресурсів та, відповідно, собівартість виготовлення;

- досягти зменшення температури перемішування можна за рахунок встановлення раціональних технологічних режимів та введення спеціальних енергозберігаючих (хімічних) добавок. При цьому фізико-механічні властивості теплих асфальтобетонів повинні відповідати вимогам нормативних документів.

Мета дослідження полягає в тому, щоб розробити теоретично та експериментально обґрунтовані методи технології будівництва асфальтобетонних шарів з використанням теплих сумішей з встановленням раціональних технологічних режимів.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- встановити та проаналізувати найбільш значимі фактори, що впливають на структуру поведінки шарів дорожнього одягу, улаштованих із теплих асфальтобетонних сумішей;

- отримати дані, які можуть бути використані для побудови математичної моделі, наприклад, за допомогою методу аналізу регресії. Ця модель дозволить встановити залежність між технологічними параметрами і фізико-механічними властивостями асфальтобетону. Такий підхід дозволить оптимізувати технологічні процеси та покращити якість теплих асфальтобетонів.

- для визначення раціонального вмісту енергозберігаючої добавки для збереження рухливості та зручноукладаності асфальтобетонної суміші, яка виготовлена за зниженими температурами порівняно з традиційними

технологіями, потрібно скористатися математичним моделюванням. Необхідно визначити параметри, які впливають на рухливість та зручноукладаність асфальтобетонної суміші при знижених температурах. На основі отриманих експериментальних даних побудувати математичну модель, яка визначить оптимальний вміст енергозберігаючої добавки для досягнення необхідних властивостей суміші при знижених температурах.

- встановити раціональні області температур перемішування під час виготовлення, раціональну кількість доданої асфальтобетонної крихти від маси суміші за результатами досліджень з подальшим розробленням математичних моделей;

- обґрунтувати техніко-економічну доцільність застосування технології теплих асфальтобетонних сумішей та визначити область її раціонального застосування; провести дослідне виробниче впровадження отриманих результатів.

Висновки до розділу 1

Аналітичний огляд існуючого закордонного досвіду використання теплих асфальтобетонних сумішей дозволив зробити наступні висновки:

1. Використання технологій теплих асфальтобетонів, дозволяє знизити температуру приготування гарячих асфальтобетонних сумішей на 20-40°C без погіршення міцнісних характеристик покриття в порівнянні з традиційним гарячим асфальтобетоном, що приготовлений на тому ж бітумі. Це досягається за рахунок відносно нових фізико-хімічних ефектів, що приводять до зниження опору суміші зсуву під час її приготування та ущільнення.

2. Використання технологій теплих асфальтобетонів сприяє екологічності та економії енергоресурсів, сучасні теплі технології дозволяють суттєво знизити обсяги викидів шкідливих речовин, таких як оксиди азоту, оксиди вуглецю, пил та ін. Зниження може сягати більш ніж 80%, що безперечно є значним кроком вперед у відношенні захисту навколишнього середовища. Ця перевага теплих

асфальтобетонів найбільше оцінена в європейських країнах, адже там діють найсуворіші обмеження щодо екологічності підприємств. В нашій же країні екологічні аспекти запровадження тієї чи іншої технології поки що розглядаються чи не в останню чергу.

3. Технологія теплих асфальтобетонних сумішей дає можливість укладати асфальтобетонні шари дорожнього одягу при нижчих температурах і при цьому забезпечувати необхідну щільність покриття, транспортувати суміші на довші відстані і при цьому зберігати рухомість при укладанні та ущільненні, ущільнювати суміш з меншим зусиллям (за типових умов, а не в холодну погоду або при тривалому транспортуванні);

4. Можливість включати більшу кількість асфальтобетонної крихти в асфальтобетонну суміш;

5. Покращені умови праці робітників за рахунок зменшення викиду парникових газів;

6. Аналіз актуальної науково-технічної інформації показав, що є необхідним та можливим підвищити ефективність застосування теплих технологій у вітчизняному дорожньому будівництві. Тому, актуальним питанням дорожньої галузі є удосконалення теплих технологій для виробництва теплового асфальтобетону, що за своїми фізико-механічними та експлуатаційними властивостями відповідають стандартним гарячим технологіям.

Результати досліджень першого розділу викладено у наступних публікаціях: [58 – 61].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Обґрунтування вибору параметрів технології приготування теплих асфальтобетонних сумішей

Нормативні значення фізико-механічних властивостей АСГ та АСТ можна забезпечити оптимальним поєднанням мінеральних наповнювачів, заповнювача та в'язучого, а також раціональними технологічними параметрами процесу приготування, які призначаються за результатами попередніх досліджень. При встановленні таких параметрів прагнуть орієнтуватися на раціональні режими, за яких досягається найкраща взаємодія компонентів і більш повно протікають фізичні та хімічні процеси.

З метою дослідження властивостей асфальтобетону, зокрема і АСТ, розглянуто та проаналізовано роботи відомих вчених: І. Копинця, С. Кіщинського, І. Гамеляка, В. Золотарьова, А. Онищенка, В. Мозгового, В. Савенка та їхніх учнів і послідовників [56, 57, 62 – 72].

У роботі [56, 57] досліджено яку процес спінення бітуму впливає на фізико-механічні властивості асфальтобетонів, виготовлених за знижених технологічних температур.

Застосування спінених бітумів передбачає зниження поверхневого натягу бітуму. Процес спінювання бітуму інтенсифікує процес змочування мінеральної поверхні складових асфальтобетонної суміші, що може підвищувати адгезію бітуму.

Завдяки ефекту спінювання, в ході якого бітум переходить у відносно стійку тонкодисперсну гетерогенну систему, яка складається з в'язучого, повітря, води, пари і поверхнево-активних речовин, що входять у склад в'язучого, а в деяких випадках додатково вводяться у бітум. При цьому суттєво полегшується процес перемішування суміші, відбувається більш рівномірний розподіл бітуму по поверхні мінеральних матеріалів, що супроводжується покриттям усіх мінеральних часток тонкою бітумною плівкою. Краще обволікання мінеральних

зерен бітумом буде досягатися при більш швидкому змочуванні ним поверхні мінерального матеріалу, змочування буде тим краще, чим нижче його поверхневий натяг.

Застосування спінених бітумів вносить ряд змін у технологічну схему приготування асфальтобетонних сумішей, що стосуються підготовки та подачі бітуму, які забезпечують його введення у змішувач у спіненому стані.

Спінене рідке бітумне в'язуче займає значний об'єм, що дозволяє покрити більшу площу мінерального матеріалу тією ж кількістю бітуму. Тим самим, в'язуче краще розподіляється по інертному матеріалу.

Застосування спіненого бітуму дозволяє використовувати більш широкий спектр кам'яних матеріалів, включаючи асфальтобетонну крихту, в порівнянні з іншими технологіями теплового асфальтобетону.

Завдяки підвищеній здатності спіненого бітуму краще обволікати кам'яний матеріал у суміші необхідна менша кількість бітуму, що дозволяє економити на вартості бітуму та транспортних перевезеннях.

В процесі приготування відбувається економія часу, підвищується зручноукладальність та термін зберігання асфальтобетонної суміші без ризику стікання бітуму і можливості недоущільнення.

Ця технологія дозволяє економити паливо для виробництва суміші і знизити емісію CO₂ в оточуюче середовище.

Шари покриття з асфальтобетону на спіненому бітумі можна укладати при зниженій температурі повітря без зниження якості шару покриття.

Основними факторами, які впливають на якість асфальтобетонних сумішей на спіненому бітумі в процесі приготування на асфальтобетонному заводі або в лабораторних умовах, є наступні:

- Властивості вихідних матеріалів: зерновий склад кам'яних матеріалів, вологість, вміст і марка вихідного бітуму;
- Кількість спіненого бітуму для приготування асфальтобетонних сумішей;

– Технологічні: температура суміші та складових матеріалів, підготовка та подача бітуму у змішувач у спіненому стані, час перемішування суміші, можливість тривалого зберігання суміші;

– Фізико-механічні властивості: залишкова пористість, середня щільність суміші, адгезія спіненого бітуму до кам'яних матеріалів.

Спінений бітум отримують додаванням невеликої кількості води (від 2 % до 5 %) або пари до гарячого бітуму (160 – 180) °С. Коли холодна вода з'єднується з гарячим бітумом, теплова енергія від бітуму передається часткам води, які, перетворюючись у пару, створюють маленькі пухирці, оточені тонкою плівкою бітуму (рис.2.1).

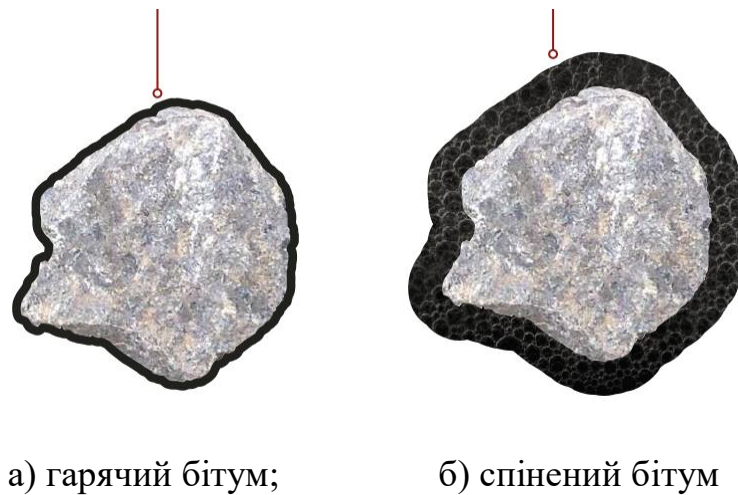


Рисунок 2.1 – Загальна схема покриття мінеральних часток гарячим та спіненим бітумом

Кількість води, що додається, повинна бути розрахована виходячи з об'ємного розширення і тривалості зберігання піни. Збільшення кількості води призводить до зростання об'ємного розширення, але при цьому зменшується час зберігання піни (період напіврозпаду).

Найважливіша властивість спіненого бітуму – його рухливість, визначається ступенем спінювання та дисперсністю. В свою чергу, від ступеню спінювання і дисперсності залежить умовна в'язкість бітуму. Змочувальна і адгезійна здатність залежить від усіх раніше зазначених властивостей.

Показники ступеня спінювання, дисперсності, в'язкості та інші повинні знаходитися в таких межах, що забезпечують полегшення перемішування компонентів суміші у змішувальних установках, а також підвищення фізико-хімічної активності в'язучого при мінімальних змінах технологічного процесу і потреби в додатковому обладнанні.

Для забезпечення необхідної однорідності асфальтобетонної суміші на спіненому бітумі та необхідне обволікання бітумом кам'яних матеріалів необхідно підібрати оптимальні властивості спіненого бітуму.

На рисунку 2.2 наведено схему процесу випробування оптимальних властивостей спіненого бітуму в заводських умовах. Спінений бітум отримують шляхом вприскування під тиском повітря і невеликої порції холодної води у гарячий бітум у спеціальній камері. Бітум спочатку розширюється до максимального об'єму, залишаючись в такому стані деякий час у секундах, а згодом повільно повертається до свого початкового об'єму [57].

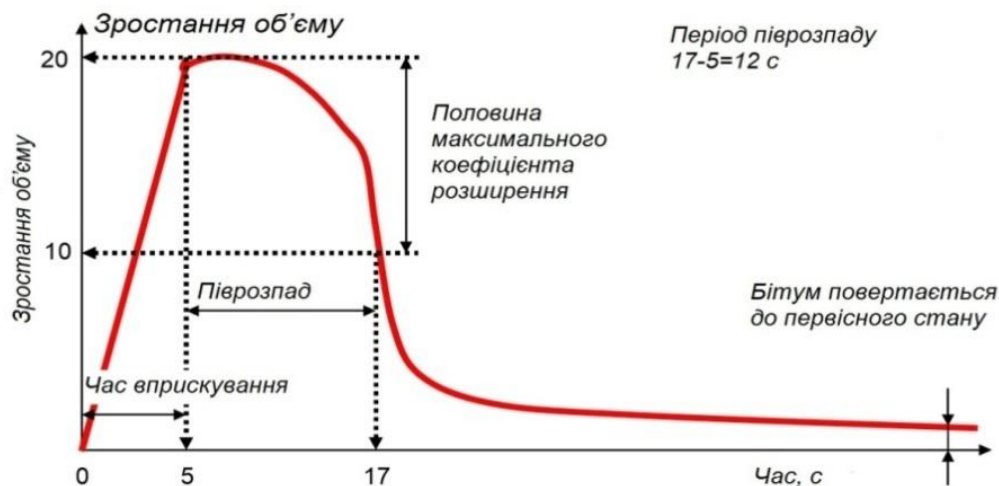


Рисунок 2.2 – Схема процесу випробування спіненого бітуму, отриманого на в'язкому гарячому бітумі з пенетрацією 70/100 у спеціальній камері

Спінений бітум характеризується такими основними властивостями:

- ступінь спінювання (кратність спінювання) - оцінюється збільшенням об'єму бітуму у спіненому стані відносно початкового об'єму;

- дисперсність - визначається середнім діаметром переважної маси пухирців повітря (пари) і вмістом пухирців різних розмірів;

- стабільність (стійкість, живучість спіненого стану) - здатність спіненого в'язучого зберігати свій об'єм у часі.

Ці властивості взаємопов'язані і залежать від марки вихідного бітуму і лабораторних або виробничих умов отримання піни (спінювальної установки).

В таблиці 1.8 наведено дані випробувань 500 г бітуму марки 70/100 в лабораторній установці WLB 10, температура вихідного бітуму становила 180 °С. Спінювання відбувалось у сталевому контейнері діаметром 280 мм, висотою 370 мм.

Таблиця 2.1 – Залежність показника зростання об'єму піни та періоду піврозпаду від кількості води для спінювання

Кількість води для спінювання, %	1	2	3	4	5
Показник зростання об'єму (ΔV)	6	16	23	31	33
Період піврозпаду піни ($T_{1/2}$),	30	20	11	7	7

Кількість води варіюється від 1 % до 4 % від маси бітуму в залежності від технології спінювання. Температура води повинна становити від 5 °С до 50 °С. Тривалість перемішування визначається дослідним шляхом і триває до тих пір, поки всі мінеральні зерна не будуть покриті в'язучим і в готовій суміші не залишиться її окремих згустків.

Враховуючи, що АБС та АСТ з використанням спіненого бітуму є комплексними багатокомпонентними матеріалами, що змінюють властивості при зміні їх складу, та що всі технологічні операції в значній мірі впливають на кінцеві властивості асфальтобетону в покритті, важливими параметрами технологічних операцій, що впливають на властивості кінцевого продукту є:

- точність попереднього дозування мінеральних матеріалів;
- температура мінеральних матеріалів на виході з сушильного барабана;
- температура та режим нагріву органічного в'язучого (бітуму);

– точність дозування мінеральних матеріалів, мінпорошку, добавок і бітуму, оскільки відхилення від заданого складу суміші є головною причиною отримання неякісної суміші;

– точність дотримання часу «сухого» і «мокрого» перемішування компонентів асфальтобетонної суміші в змішувачі. Забезпечення цього параметра вирішується введенням даних щодо часу перемішування в блок системи автоматичного керування;

– максимальний час зберігання асфальтобетонної суміші.

В ході виконання лабораторних випробувань були досліджені властивості матеріалів та фактори, які впливають на технологічний процес приготування асфальтобетонних сумішей на спіненому бітумі на асфальтобетонному заводі або в лабораторних умовах - температура суміші під час приготування, вміст бітуму, середня щільність отриманих зразків.

Випробування асфальтобетону на традиційному бітумі

Для подальшого порівняння та аналізу було виготовлено зразки асфальтобетону з використанням традиційного бітуму та підібрано оптимальний вміст в'язучого.

Залежність фізико-механічних властивостей асфальтобетону від вмісту спіненого бітуму наведено в таблицях 2.2 – 2.3.

Таблиця 2.2 – Фізико-механічні показники зразків асфальтобетону, приготовленому на традиційному бітумі для ЩМАС-20

Показники	Значення показників при вмісті спіненого бітуму, %		
Кількість бітуму, %	6,4	6,0	5,6
Середня густина, ρ , г/см ³	2,35	2,35	2,36
Водонасичення, W, % за об'ємом	3,0	2,2	1,3
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°C	2,9	3,0	2,6
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°C	1,1	1,2	0,7

Таблиця 2.3 – Фізико-механічні показники зразків асфальтобетону, приготовленому на традиційному бітумі для асфальтобетону типу А.

Показники	Значення показників при вмісті спіненого бітуму, %		
Кількість бітуму, %	5,2	5,6	6,0
Середня густина, ρ , г/см ³	2,33	2,32	2,34
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,8	3,2	1,4
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°C	3,3	4,2	5,0
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°C	1,2	1,7	1,6

Оптимальною кількістю в'язучого для асфальтобетону типу А та ЩМАС-20, за результатами підбору кількості в'язучого, було обрано 6,0 %.

Випробування асфальтобетону на спіненому бітумі

Залежність фізико-механічних властивостей асфальтобетону від вмісту спіненого бітуму наведено в таблицях 2.4 – 2.5.

Таблиця 2.4 – Фізико-механічні показники зразків асфальтобетону, приготовленому на спіненому бітумі для ЩМАС-20

Показники	Значення показників при вмісті спіненого бітуму, %		
Кількість бітуму, %	5,6	5,2	4,8
Середня густина, ρ , г/см ³	2,35	2,35	2,34
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,6	3,3	3,4
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°C	2,9	3,2	2,7
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°C	0,8	0,9	0,9

Таблиця 2.5 – Фізико-механічні показники зразків асфальтобетону, приготовленому на спіненому бітумі для асфальтобетону тип А

Показники	Значення показників при вмісті спіненого бітуму, %		
Кількість бітуму, %	5,6	5,2	4,8
Середня густина, ρ , г/см ³	2,34	2,35	2,33
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,2	1,8	3,3
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°C	3,5	4,2	3,3
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°C	1,2	1,4	1,2

Графічне зображення залежностей фізико-механічних показників зразків асфальтобетону, приготовленому на спіненому бітумі, наведено на рисунках 2.3 – 2.6.

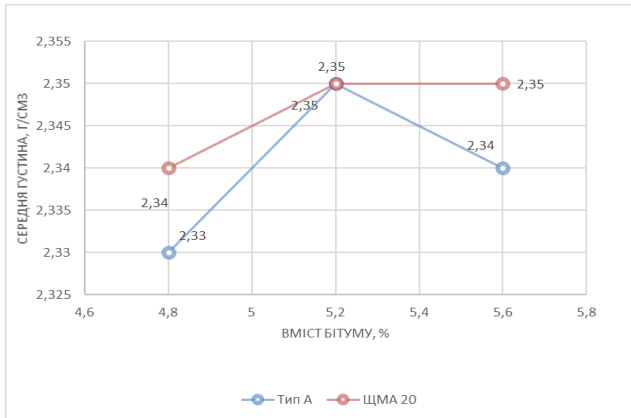


Рисунок 2.3 – Графік залежності середньої густини

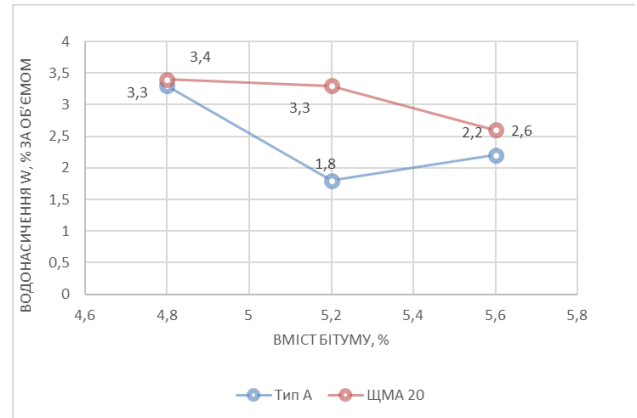


Рисунок 2.4 – Графік залежності водонасичення

Рисунок 2.3 – Графік залежності середньої густини від вмісту спіненого бітуму

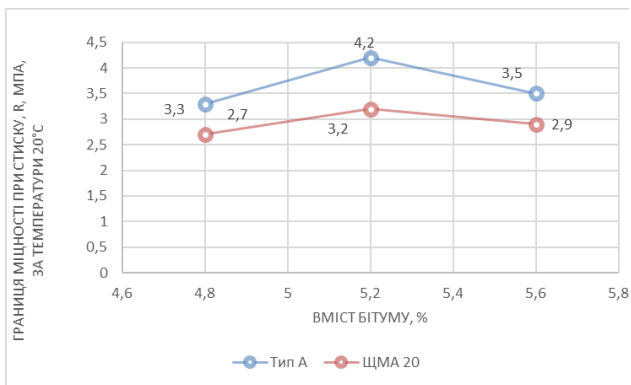


Рисунок 2.5 – Графік залежності границі міцності при стиску за температури 20°C

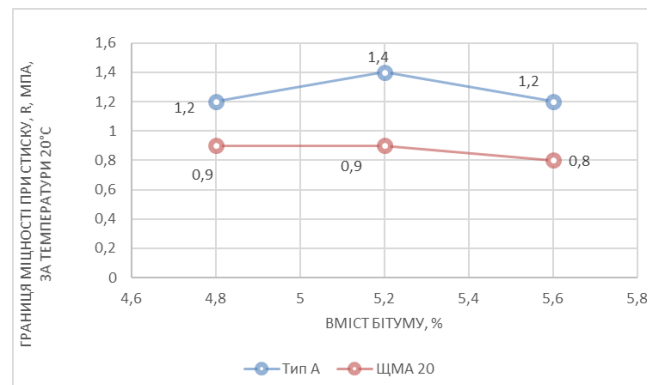


Рисунок 2.6 – Графік залежності границі міцності при стиску за температури 50°C

Із залежностей, наведених на рис. 2.3 – 2.6 було обрано оптимальний вміст спіненого бітуму для обраних сумішей, який дорівнює 5,2 % бітуму для ЩМАС та асфальтобетону типу А.

Для визначення оптимальних температур приготування асфальтобетонних та щебенево-мастикових сумішей було обрано температури (140 – 120) °С з кроком збільшення в 10 °С.

Було виготовлено зразки асфальтобетону на основі спіненого бітуму при різних температурах з використанням оптимальної кількості бітуму. Виготовлені зразки були випробувані на основні фізико-механічні показники.

Результати випробувань наведені в таблиці 2.6 – 2.7.

Таблиця 2.6 – Фізико-механічні показники зразків асфальтобетону, приготовленому на спіненому бітумі для асфальтобетону типу А

Показники	Температура приготування, °С		
	120	130	140
Кількість бітуму, %	5,2		
Середня густина, ρ , г/см ³	2,33	2,34	2,34
Водонасичення, W, % за об'ємом	3,4	3,5	2,4
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°С	3,4	3,0	2,7
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°С	0,9	1,2	1,2

Таблиця 2.7 – Фізико-механічні показники зразків асфальтобетону, приготовленому на спіненому бітумі ЦМА-20

Показники	Температура приготування, °С		
	120	130	140
Кількість бітуму, %	5,2		
Середня густина, ρ , г/см ³	2,33	2,35	2,34
Водонасичення, W, % за об'ємом	3,4	2,5	3,7
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°С	2,7	2,5	2,5
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°С	0,62	0,98	0,82

Графічне зображення залежностей фізико-механічних показників зразків асфальтобетону, приготовленому на спіненому бітумі за різних температур, наведено на рис. 2.7 – 2.10.

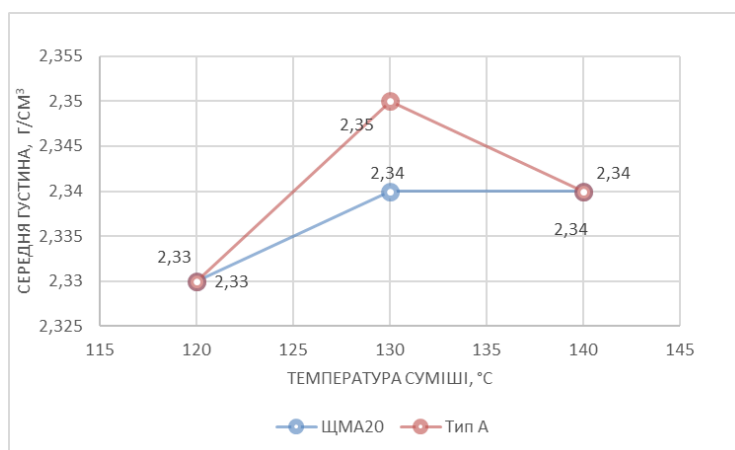


Рисунок 2.7 – Графік залежності середньої густини від температури суміші

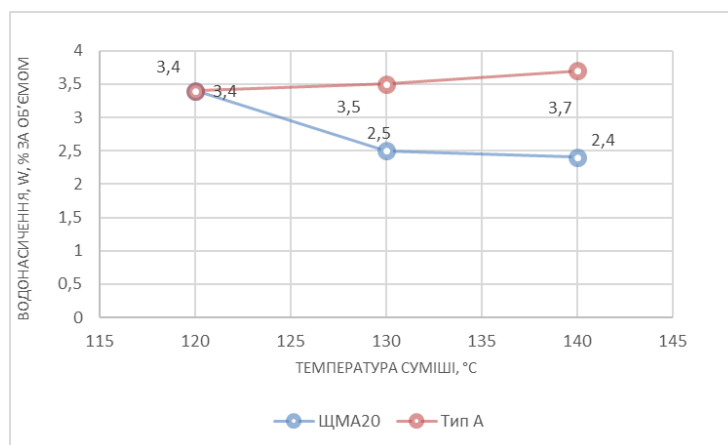


Рисунок 2.8 – Графік залежності водонасичення від температури суміші

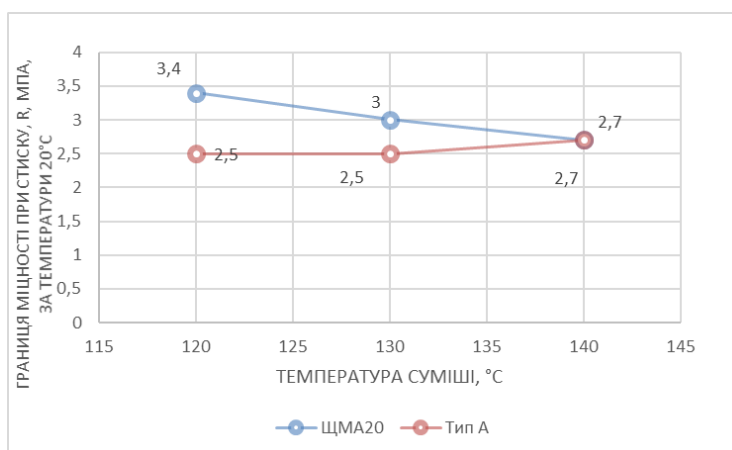


Рисунок 2.9 – Графік залежності границі міцності при стиску за температури 20°C від температури суміші

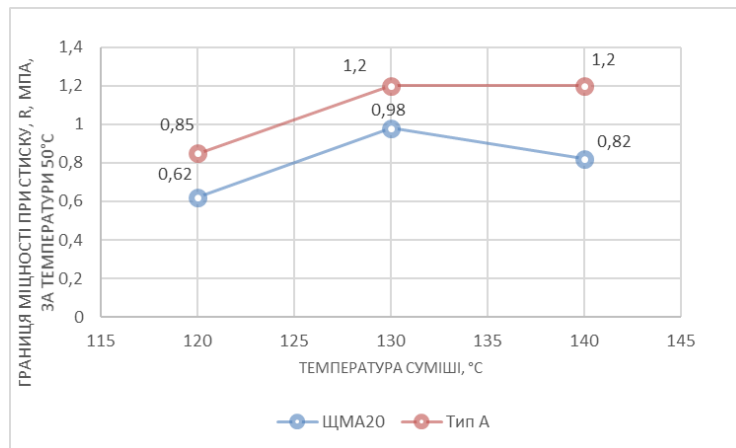


Рисунок 2.10 – Графік залежності границі міцності при стиску за температури 50°C від температури суміші

Із залежностей, наведених на рис. 2.7 – рис. 2.10, було обрано оптимальні температури приготування сумішей. Оптимальною температурою приготування, за результатами випробувань, було обрано температуру 130 °C.

– Спінення бітуму для приготування асфальтобетонних сумішей є однією з технологій, що забезпечує досягнення енергозбереження, а також створює можливість досягти більш якісного та рівномірного покриття мінеральних складових асфальтобетонної суміші в'язучим та забезпечення високої однорідності суміші.

– Спінений бітум отримували у лабораторній установці шляхом додавання невеликої води по масі до гарячого бітуму при різній температурі приготування (110 – 160) °C. Властивості асфальтобетонної суміші типу А та щебенево-мастикової суміші ЩМАС-20 порівнювали за такими показниками як середня густина, водонасичення, міцність при стиску.

– При застосуванні спінених бітумів у технології виготовлення асфальтобетонних сумішей, технологічний процес приготування сумішей залишається в цілому незмінним. Однак, основні зміни відбуваються у процесах підготовки та подачі бітуму, щоб забезпечити його введення у змішувач у спіненому стані. Це може включати в себе використання спеціального обладнання для спінення бітуму перед його введенням у суміш, а також налаштування параметрів температури та часу спінення для досягнення оптимальних результатів.

– Зазвичай, спінення бітуму відбувається за допомогою спеціальних установок, які нагрівають бітум до високої температури та вводять повітря або пару для створення пухкавої консистенції. Після цього спінений бітум може бути поданий у змішувач для подальшого використання у виробництві асфальтобетону.

– Таким чином, використання спінених бітумів вимагає деяких змін у процесі підготовки та подачі бітуму, але загальна технологія виготовлення асфальтобетонних сумішей залишається схожою до традиційних методів. За результатами експериментальних досліджень показників фізико-механічних властивостей асфальтобетону та ЩМА на основі вспіненого бітуму можна відзначити такі переваги спіненого бітуму, як зниження температури приготування та ущільнення суміші (покращення коефіцієнту ущільнення, стійкості асфальтобетону при ранньому відкритті руху).

– За результатами підбору складу асфальтобетонної суміші типу А на гарячому і бітумах з процесом спінення можна відзначити економію бітуму на 0,8 % [57].

У роботі [64] досліджено технологічні температури виробництва та початку ущільнення асфальтобетонних сумішей на бітумах БНД 50/70, БНД 70/100 та БНД 70/100 із додаванням енергозберігаючої добавки у кількості від 1 до 3 %.

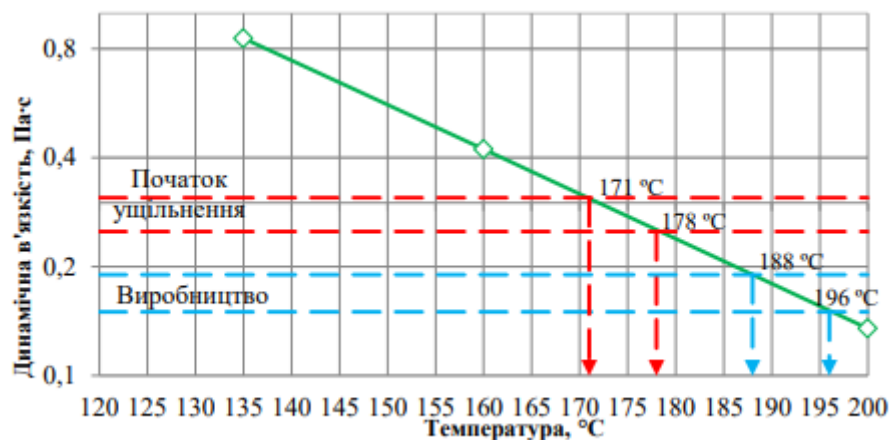


Рисунок 2.11 – Встановлення технологічних температур виробництва та початку ущільнення асфальтобетонних сумішей для бітуму марки БНД 5070

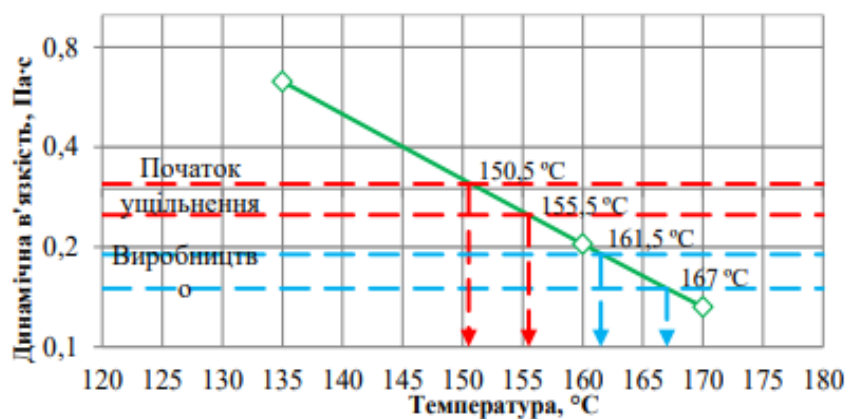


Рисунок 2.12 – Встановлення технологічних температур виробництва та початку ущільнення асфальтобетонних сумішей для бітуму марки БНД 70/100

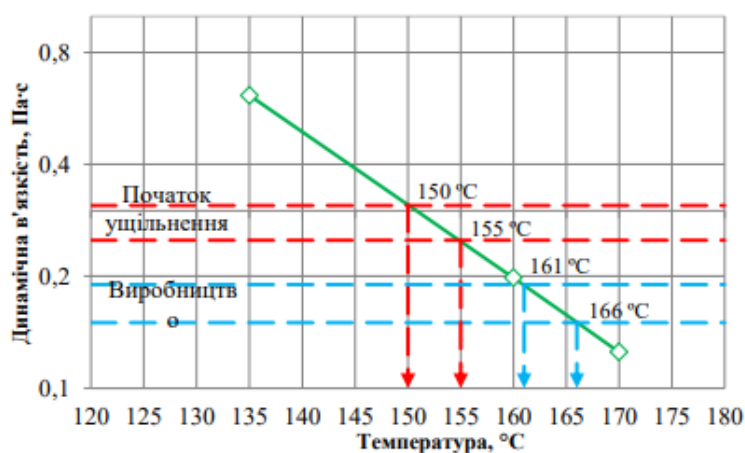


Рисунок 2.13 – Встановлення технологічних температур виробництва та початку ущільнення асфальтобетонних сумішей для бітуму марки БНД 70/100, із додаванням енергозберігаючої добавки 1,0 %

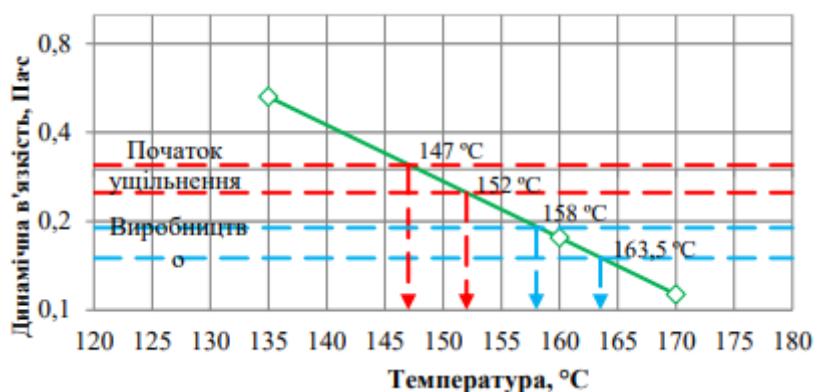


Рисунок 2.14 – Встановлення технологічних температур виробництва та початку ущільнення асфальтобетонних сумішей для бітуму марки БНД 70/100, із додаванням енергозберігаючої добавки 2,0 %

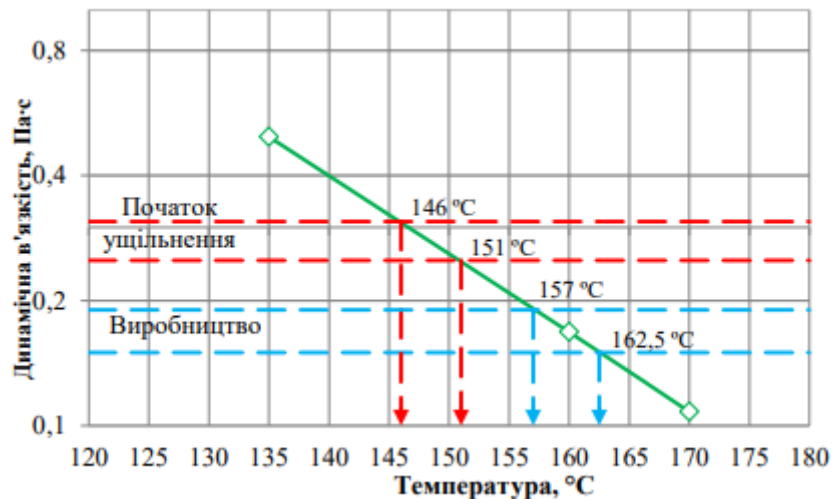


Рисунок 2.15 – Встановлення технологічних температур виробництва та початку ущільнення асфальтобетонних сумішей для бітуму марки БНД 70/100, із додаванням енергозберігаючої добавки 3,0 %

Введення в бітум енергозберігаючої добавки призводить до незначного зниження їх динамічної в'язкості за технологічних температур. Під час модифікації бітуму 3,0 % добавки технологічні температури виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей можуть бути на (25 – 30) °C нижчими за відповідні температури для бітуму з близьким значенням пенетрації [64].

Асфальтобетон є матеріалом, властивості якого переважно визначаються характеристиками взаємодії бітуму з поверхнею мінерального наповнювача. І хоча вміст бітуму в асфальтобетоні складає від 4 % до 8 %, проблема зміни властивостей асфальтобетону вирішується, головним чином, шляхом модифікації бітуму та регулюванням його взаємодії з мінеральним наповнювачем [25].

Для підвищення якості асфальтобетону і зниження витрат бітуму існує багато рекомендацій, які передбачають, зокрема, активацію мінеральних матеріалів, введення у склад в'язучого модифікуючих добавок, комплексне використання різних в'язучих, застосування більш досконалого обладнання тощо. Однак, більшість з цих способів передбачає підвищення витрат на приготування сумішей або суттєве ускладнення технології виконання робіт.

Одним з головних напрямків підвищення якості асфальтобетону є підвищення адгезійних властивостей, що забезпечує міцне зчеплення бітуму з

поверхнею мінеральних матеріалів різного походження. При традиційній технології приготування асфальтобетонних сумішей появи тонких плівок бітуму сприяє підвищення температури бітуму, введення добавок, збільшення тривалості перемішування, що призводить до підвищення енерговитрат та зниження продуктивності [25].

Застосування спінених бітумів забезпечує зниження поверхневого натягу бітуму. Процес спінювання бітуму інтенсифікує процес змочування мінеральної поверхні складових асфальтобетонної суміші, що може підвищувати адгезію бітуму [73].

Дослідження можливості використання теплих асфальтобетонних сумішей передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та випробування таких сумішей.

Для приготування асфальтобетонів використовували: щебінь фракції (10-20) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75-98 [74]; щебінь фракції (5-10) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75-98 [74]; пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід фракції (0-5) мм згідно з ДСТУ Б.В.2.7-210:2010 [75]; мінеральний порошок згідно з ДСТУ Б В.2.7-121:2014 [76]; АК (асфальтобетонна крихъа); бітум марки БНД 70/100, що відповідає вимогам ДСТУ 4044:2019 [7].

При виконанні досліджень були проведені випробування таких асфальтобетонів:

- АСГ.Щ.А.НП.І на вихідному бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 %, 5,5 %, 6,0 %;
- АСГ.Щ.А.НП.І на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%, 5,0 %, 5,5 %;
- АСГ.Щ.А.НП.І із спіненням бітуму БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5%, 5,0 %, 5,5 %;
- АСГ.Щ.А.НП.І (+РАП) із спіненням бітуму бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5%, 5,0 %, 5,5 %.

Приготування зразків асфальтобетонів здійснювалось з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операції згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [78] та ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [79].

Температура вихідного бітуму при перемішуванні становила (140-155) °С, мінерального матеріалу (170-180)°С. Температура при ущільненні знаходилась в межах (135-145)°С.

Температура бітуму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей становила (130-145) °С, температура нагрівання мінерального матеріалу (140-160)°С. Температура при ущільненні зразків становила від 125°С до 135°С.

Таким чином використання енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму дозволяє знизити температуру нагрівання в'язучого і мінерального матеріалу на (10 – 15) °С.

Випробування асфальтобетонів на вихідному та спіненому бітумі проводились за показниками та методами випробувань, наведеними в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Показники та методи випробувань гарячих асфальтобетонів

Назва показника	Методи випробувань
Середня густина, ρ , г/см ³	р.8 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [79]
Водонасичення, W, % за об'ємом	р.14 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [79]
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури: - 0°С - 20°С - 50°С	р. 16 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [79]
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $K_{вд}$	р. 23 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [79]

Результати випробування вихідного бітуму БНД 70/100 наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.9 – Фізико-механічні характеристики вихідного бітуму БНД 70/100

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування	Вимоги ДСТУ 4044:2019 [77]
Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	72	від 70 до 100
Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	48	від 45 до 51
Температура крихкості, °С	мінус 19	не вище ніж мінус 13
Розтяжність за температури 25 °С, см	98	не менше ніж 60
Інтервал пластичності, °С	70	-
Зміна маси після прогрівання, % за масою	0,11	не більше ніж 0,9
Залишкова пенетрація, %	57	не більше ніж 59
Зміна температури розм'якшеності, °С	3,5	не більше ніж 6,0
Індекс пенетрації	мінус 0,91	від мінус 2,0 до 1,0

Таблиця 2.10 – Фізико-механічні показники АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	5,0	5,5	6,0
Середня густина, ρ , г/см ³	2,38	2,41	2,41
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,01	1,28	1,02
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 0°С	8,63	10,07	9,84
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°С	3,66	4,20	3,47
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°С	1,43	1,75	1,45
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, K _{вд}	0,90	0,92	0,93

Таблиця 2.11 – Фізико-механічні показники АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного бітуму з використанням енергозберігаючої добавки

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, ρ , г/см ³	2,39	2,41	2,41
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,20	1,01	0,74
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 0°C	7,15	7,53	7,58
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°C	3,12	3,82	3,28
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°C	1,26	1,30	1,26
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, K _{вд}	0,90	0,96	0,96

Таблиця 2.12 – Фізико-механічні показники АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі спіненого бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, ρ , г/см ³	2,39	2,40	2,40
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,72	1,28	0,74
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 0°C	9,51	9,80	9,98
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°C	4,13	4,67	4,59
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°C	1,43	1,66	1,56
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, K _{вд}	0,91	0,95	0,96

Таблиця 2.13 – Фізико-механічні показники АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі спіненого бітуму та АСГ.Др.Щ.А.НП.І з додаванням 25 % асфальтобетонної крихти

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, ρ , г/см ³	2,40	2,41	2,42
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,47	1,46	0,83
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 0°C	11,16	11,54	11,85
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20°C	4,67	5,25	4,65
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50°C	1,35	1,64	1,51
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, K _{вд}	0,89	0,91	0,92

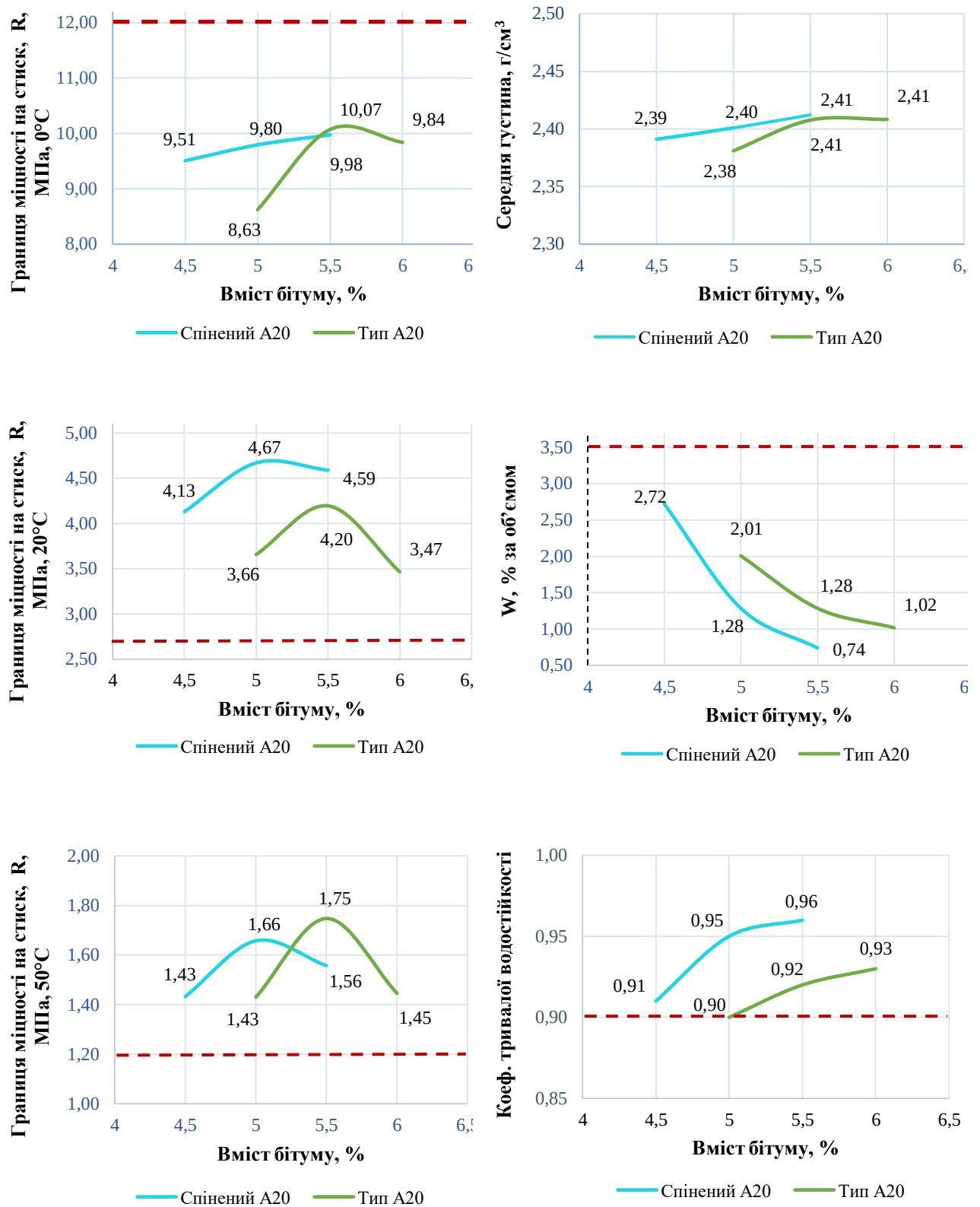


Рисунок 2.16 – Порівняння фізико-механічних показників АСТ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного та спіненого бітумів

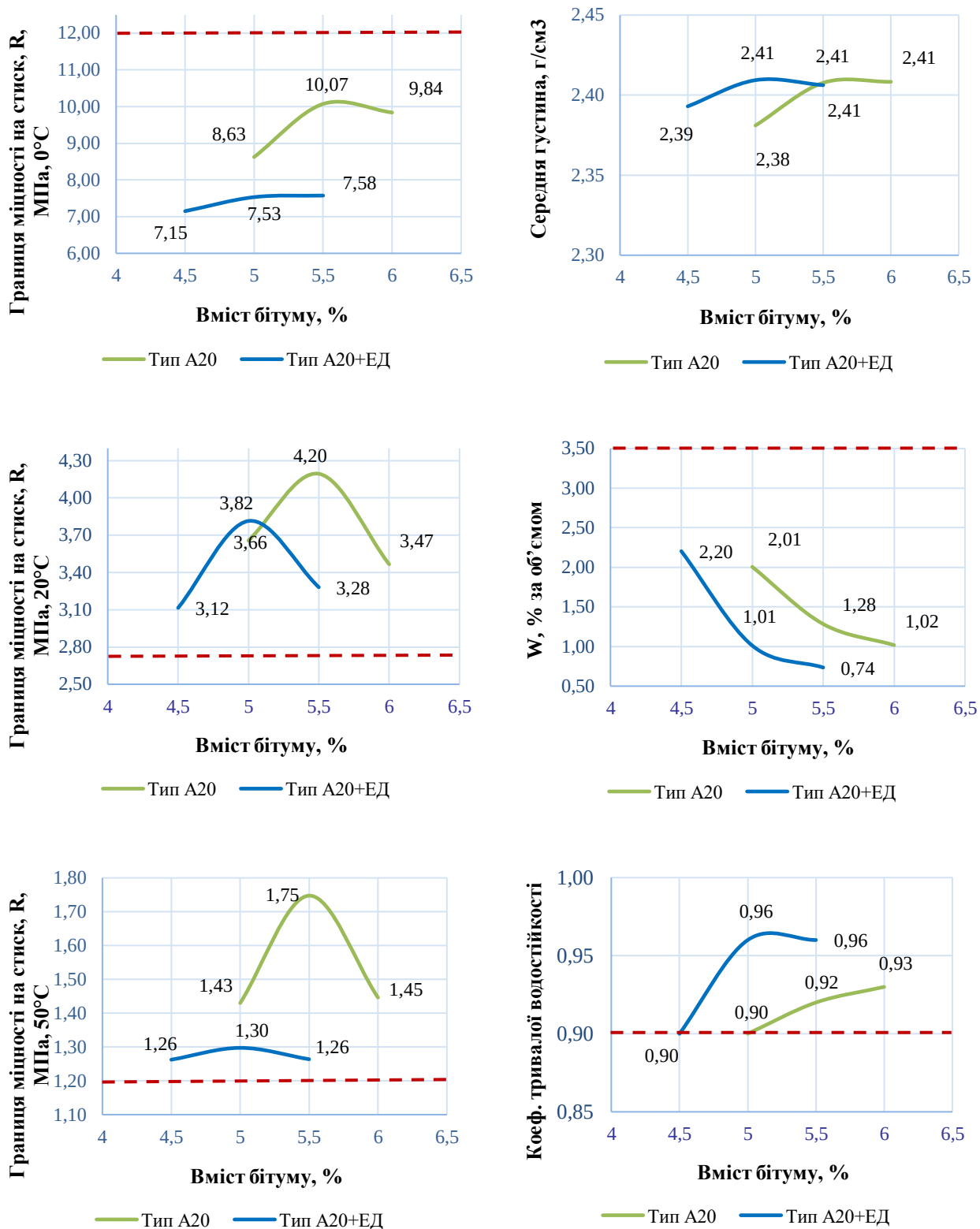


Рисунок 2.17 – Порівняння фізико-механічних показників АСТ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного бітуму та бітуму з енергозберігаючою добавкою

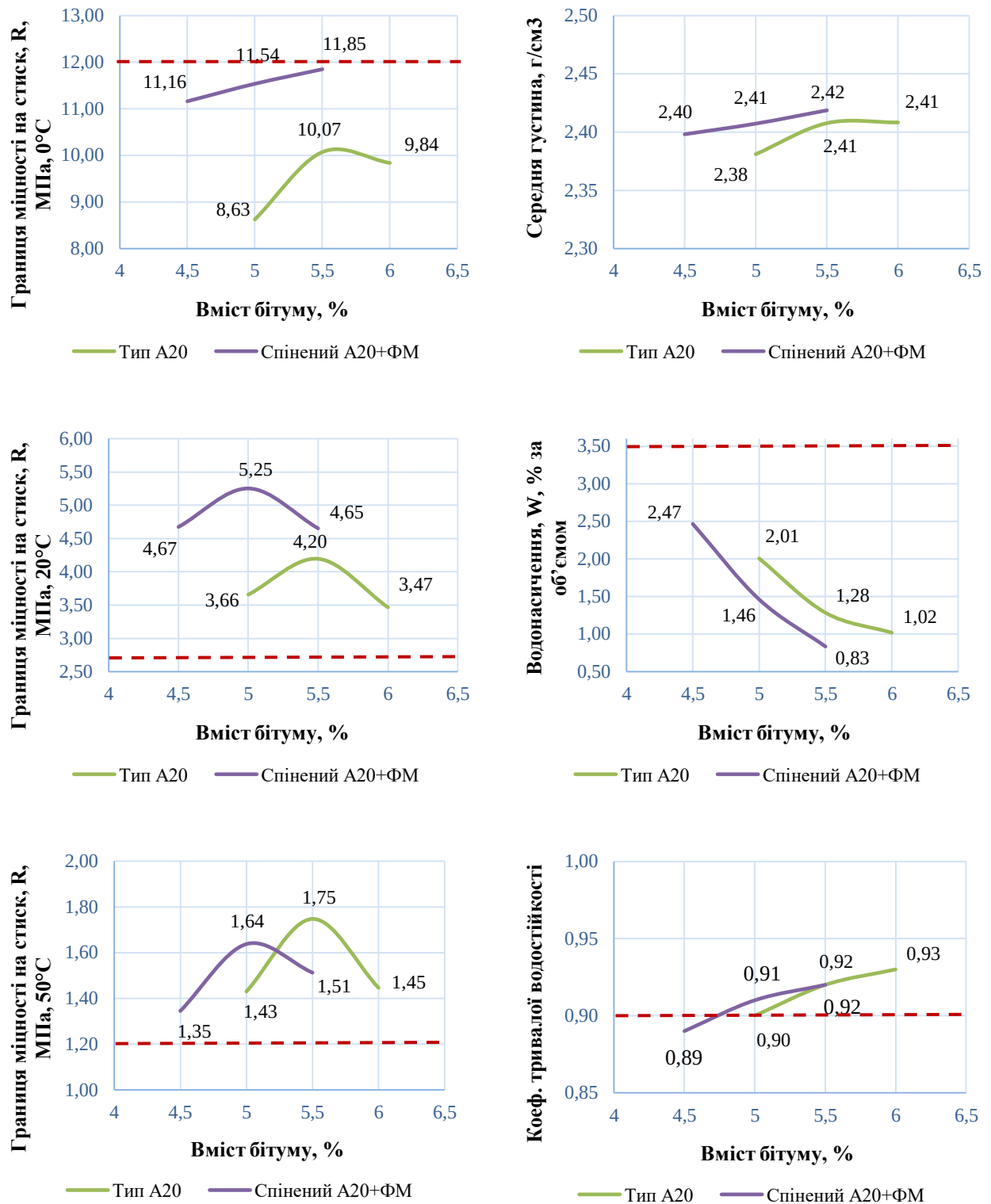


Рисунок 2.18 – Порівняння фізико-механічних показників АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного бітуму та АСГ.Др.Щ.А.НП.І з додаванням 25 % асфальтобетонної крихти

За результатами випробувань встановлено, що границя міцності при стиску за температури 20 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А на вихідному бітумі при вмісті бітуму від 5,0 % до 6,0 % змінювалась з 3,47 МПа до 4,20 МПа. Максимальне значення міцності відповідало 5,5 % бітуму. Границя міцності при стиску за температури 50 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А при вмісті вихідного бітуму від 5,0 % до 6,0 % становила від 1,43 МПа до 1,75 МПа. Максимальне значення міцності 1,75 МПа асфальтобетону було при 5,5 % бітуму. Найвище значення границі міцності при температурі 0 °С (10,07 МПа) спостерігалось при 5,5 % бітуму. Середня густина асфальтобетону типу А становила від 2,38 г/см³ до 2,41 г/см³. Її більше значення досягалось при 5,5 % бітуму. Найменше водонасичення асфальтобетону на вихідному бітумі дорівнювало 1,02 % при вмісті бітуму 6,0 %. Найбільше значення коефіцієнта довготривалої водостійкості 0,93 на вихідному бітумі дрібнозернистий асфальтобетон типу А мав при вмісті 6,0 %.

При додаванні до бітуму енергозберігаючої добавки границя міцності при стиску за температури 20 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А змінювалась з 3,12 МПа до 3,82 МПа при вмісті в'язучого від 4,5 % до 5,5 %. Максимальне значення міцності 3,82 МПа відповідало 5,5 % бітуму. Границя міцності при стиску за температури 50 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А при вмісті бітуму від 4,5 % до 5,5 % та незмінній кількості енергозберігаючої добавки становила від 1,26 МПа до 1,43 МПа. Максимальне значення міцності 1,43 МПа асфальтобетону було при 5,0 % бітуму. Найвище значення границі міцності при температурі 0 °С (7,58 МПа) відповідає вмісту бітуму 5,5 %. Середня густина асфальтобетону типу А становила від 2,39 г/см³ до 2,41 г/см³. Її більше значення досягалось при 5,0 % бітуму. Найменше водонасичення асфальтобетону на бітумі з додаванням енергозберігаючої добавки дорівнювало 0,74 % при вмісті бітуму 5,5 %. Найбільше значення коефіцієнта довготривалої водостійкості 0,96 дрібнозернистий асфальтобетон типу А з додаванням енергозберігаючої добавки мав при вмісті 5,0 %.

При використанні спіненого бітуму границя міцності при стиску за температури 20 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А змінювалась з 4,13 МПа до 4,67 МПа при вмісті в'язучого від 4,5 % до 5,5 %. Найбільше значення міцності за температури 20 °С (4,67 МПа) відповідало 5,0 % в'язучого. Границя міцності при стиску за температури 50 °С асфальтобетону типу А залежно від вмісту спіненого бітуму становила (1,43 – 1,66) МПа. Найвище значення міцності за температури 50 °С було при 5,0 % спіненого бітуму. Найвище значення границі міцності при температурі 0 °С асфальтобетону на спіненому бітумі (10,07 МПа) спостерігалось при 5,5 % бітуму. Середня густина дрібнозернистого асфальтобетону типу А була практично незмінною при вмісті спіненого бітуму (5,0 – 5,5) % і становила 2,40 г/см³, при вмісті 4,5 % – 2,39 г/см³. При зміні вмісту спіненого бітуму від 4,5 % до 5,5 % найнижче значення водонасичення дрібнозернистого асфальтобетону дорівнює 0,74, найвище (при 4,5 % бітуму) – 2,4 %. Коефіцієнт довготривалої водостійкості дрібнозернистого асфальтобетону типу А був найбільшим при вмісті спіненого бітуму 5,5 % і становив 0,96.

В результаті додавання асфальтобетонної крихти та вспіненого бітумі границя міцності при стиску коливалась в межах від 4,65 МПа до 5,25 МПа. Найбільше значення міцності 5,25 МПа відповідало 5,0 % бітуму. Границя міцності при стиску за температури 50 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А (+ асфальтобетонна крихта) при вмісті бітуму від 4,5 % до 5,5 % становила від 1,35 МПа до 1,64 МПа. Максимальне значення міцності 1,64 МПа асфальтобетону було при 5,0 % бітуму. %. Найбільше значення міцності за температури 0 °С (11,85 МПа) відповідало 5,5 % в'язучого. Середня густина асфальтобетону типу А становила від 2,40 г/см³ до 2,42 г/см³. Її більше значення досягалось при 5,5 % бітуму. Найменше водонасичення асфальтобетону на вихідному бітумі дорівнювало 0,83 % при вмісті бітуму 5,5 %. Найбільше значення коефіцієнта довготривалої водостійкості на вихідному бітумі дрібнозернистий асфальтобетон типу А мав при вмісті 5,5 %.

Таким чином дрібнозернистий асфальтобетон типу А на вихідному бітумі показував найкращі результати при вмісті бітуму 5,5 %. При додаванні енергозберігаючої добавки до вихідного бітуму найкращих показників асфальтобетон досягнув при 5,0 % в'язучого. На спіненому бітумі асфальтобетон типу А мав найкращі результати при вмісті бітуму 5,0 %. Асфальтобетон з додаванням асфальтобетонної крихти на вспіненому бітумі показав кращі результати при вмісті в'язучого 5,0 %.

2.2 Встановлення вагомості факторів

На характеристики асфальтобетону впливають безліч факторів, таких як: температура перемішування суміші при приготуванні, вміст бітуму, вміст енергозберігаючої добавки, зерновий склад мінеральної частини суміші, тривалість перемішування суміші при приготуванні, температура бітуму, кількість асфальтобетонної крихти, температура ущільнення суміші, однорідність перемішування, взаємодія бітуму та мінеральних матеріалів [9, 69, 70].

Методика проведення досліджень

З метою встановлення найбільш вагомих факторів, що впливають на фізико-механічні показники теплового асфальтобетону використаний метод експертних оцінок.

Загальна схема експертних опитувань включала наступні етапи: підбір експертів; формування питань і складання анкет; робота з експертами; формування правил визначення сумарних оцінок на основі оцінок окремих експертів; аналіз і обробка експертних оцінок.

В якості факторів, що включені в опитування були прийняті основні технологічні та технічні параметри (табл. 2.14). Вибір параметрів здійснений на основі аналізу літературних джерел з урахуванням вимог [78].

Результати досліджень та обговорення

У таблиці 2.6 наведені найбільш вагомі фактори що впливають на фізико-механічні властивості теплих асфальтобетонів

Таблиця 2.14 – Фактори та їх кодовані позначення

Досліджувана змінна (фактор)	Позначення фактору
Температура змішування	X ₁
Вміст бітуму	X ₂
Вміст енергозберігаючої добавки	X ₃
Зерновий склад	X ₄
Тривалість перемішування суміші при приготуванні	X ₅
Температура бітуму	X ₆
Кількість асфальтобетонної крихти	X ₇
Температура ущільнення суміші	X ₈
Однорідність перемішування	X ₉

В опитуванні прийняли участь 10 експертів. На основі даних анкетного опитування складена зведена матриця рангів (табл. 2.15).

Таблиця 2.15 – Зведена матриця рангів

Фахівець, який бере участь в опитуванні	Ранги факторів, що включені в опитування								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
1	2	1	5	8	4	7	3	9	6
2	1	2	6	3	5	9	4	8	7
3	2	4	2	6	1	9	5	8	7
4	3	5	1	7	4	8	2	5	9
5	4	1	2	7	6	5	3	9	8
6	2	3	4	8	5	6	1	9	7
7	3	4	4	6	5	7	1	8	9
8	1	4	3	7	8	9	1	6	5
9	1	4	2	6	7	9	3	5	8
10	2	5	1	8	6	7	3	9	4
Сума рангів по факторах $\sum_{j=1}^n a_{ji}$	21	33	30	66	51	76	26	76	70
Умовний ранг факторів по сумі рангів a_i	1	4	3	6	5	7	2	8	9

a_i – ранг i -го фактора у j -го опитуваного фахівця, n – кількість опитуваних фахівців.

Враховуючи, що деякі експерти не змогли розділити ступінь впливу певних факторів і поставили однакові ранги виконується перетворення рангів. З цією метою кожен однаковий ранг j -го фахівця замінюється перетвореним, що обчислюється за співвідношенням:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{k_1} (k_2 + i)}{k_1}, \quad (2.1)$$

де k_1 - число однакових рангів у відповідній групі рангів для визначеного опитуваного фахівця;

k_2 - кількість факторів, які розташовані попереду групи факторів з однаковими рангами.

Інші ранги замінюються порядковим номером фактора у ранжированому ряді. Так як в матриці є пов'язані ранги (однаковий ранговий номер) в оцінках 2-го експерта, зробимо їх переформування (табл. 2.16)

Таблиця 2.16 – Переформування пов'язаних рангів в оцінках 3-го експерта

Фактори, включені в опитування	X ₅	X ₁	X ₃	X ₂	X ₅	X ₄	X ₉	X ₈	X ₆
Значення рангів фахівця, отримані при опитуванні	1	2	2	4	5	6	7	8	9
Порядковий номер, займаний факторами в ранжированому ряді	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетворені ранги	1	2,5	2,5	4	5	6	7	8	9

У таблиці 2.16 є одна група однакових рангів. Для цієї групи перетворений ранг $b = 2,5$.

Таблиця 2.17 – Переформування пов'язаних рангів в оцінках 4-го експерта

Фактори, включені в опитування	X ₃	X ₇	X ₁	X ₅	X ₂	X ₈	X ₁	X ₇	X ₂
Значення рангів фахівця, отримані при опитуванні	1	2	3	4	5	5	7	8	9
Порядковий номер, займаний факторами в ранжированому ряді	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетворені ранги	1	2	3	4	5,5	5,5	7	8	9

У таблиці 2.17 є одна група однакових рангів. Для цієї групи перетворений ранг $b = 5,5$.

Таблиця 2.18 – Переформування пов'язаних рангів в оцінках 7-го експерта

Фактори, включені в опитування	X ₃	X ₇	X ₁	X ₂	X ₅	X ₄	X ₆	X ₈	X ₉
Значення рангів фахівця, отримані при опитуванні	1	2	2	4	5	6	7	8	9
Порядковий номер, займаний факторами в ранжированому ряді	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетворені ранги	1,5	1,5	3	4	5	6	7	8	9

У таблиці 2.18 є одна група однакових рангів. Для цієї групи перетворений ранг $b = 1,5$.

Таблиця 2.19 – Переформування пов'язаних рангів в оцінках 8-го експерта

Фактори, включені в опитування	X ₁	X ₇	X ₃	X ₂	X ₉	X ₈	X ₄	X ₅	X ₆
Значення рангів фахівця, отримані при опитуванні	1	2	3	4	5	5	7	8	9
Порядковий номер, займаний факторами в ранжированому ряді	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетворені ранги	1,5	1,5	3	4	5	6	7	8	9

У таблиці 2.19 є одна група однакових рангів. Для цієї групи перетворений ранг $b = 1,5$.

Перетворені ранги наведені в табл. 2.20.

Таблиця 2.20 – Перетворені ранги

Фахівець, який бере участь в опитуванні	Зв'язані ранги факторів, що включені в опитування									Сума рангів по фахівцях $\sum_{i=1}^k b_{ji}$	Чисельність однакових рангів η_r	T_j
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9			
1	2,0	1,0	5,0	8,0	4,0	7,0	3,0	9,0	6,0	45	-	-
2	1,0	2,0	6,0	3,0	5,0	9,0	4,0	8,0	7,0	45	-	-
3	2,5	4,0	2,5	6,0	1,0	9,0	5,0	8,0	7,0	45	2	6
4	3,0	5,5	1,0	7,0	4,0	8,0	2,0	5,5	9,0	45	2	6
5	4,0	1,0	2,0	7,0	6,0	5,0	3,0	9,0	8,0	45	-	-
6	2,0	3,0	4,0	8,0	5,0	6,0	1,0	9,0	7,0	45	-	-
7	3,0	4,0	1,5	6,0	5,0	7,0	1,5	8,0	9,0	45	2	6
8	1,5	4,0	3,0	7,0	8,0	9,0	1,5	6,0	5,0	45	2	6
9	1,0	4,0	2,0	6,0	7,0	9,0	3,0	5,0	8,0	45	-	-
10	2,0	5,0	1,0	8,0	6,0	7,0	3,0	9,0	4,0	45	-	-
Сума рангів по факторах $\sum_{i=1}^n b_{ji}$	22,0	33,5	28,0	66,0	51,0	76,0	27,0	76,5	70,0	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n b_{ij} = 450$		$\sum_{j=1}^n T_j = 24$
Умовний ранг по сумі рангів β_i	1	4	3	6	5	8	2	9	7			
Відхилення суми рангів від середнього Δ_i	-28,0	-16,5	-22,0	16,0	1,0	26,0	-23,0	26,5	20,0	$\sum_{j=1}^n \Delta_i = 0$		
Квадрати відхилень Δ_i^2	784,0	272,3	484,0	256,0	1,0	676,0	529,0	702,3	400,0	$\sum_{j=1}^n \Delta_i^2 = 4104$		

Перевірка правильності складання матриці на основі обчислення контрольної суми визначається за формулою:

$$\sum_{i=1}^k b_{ji} = \frac{(1+k) \times k}{2}, \quad (2.2)$$

де k – кількість досліджуваних факторів.

Наступним етапом є аналіз значимості досліджуваних факторів. Таблиця 2.20 показує, що найбільш значимими факторами є X_1 , X_3 та X_7 , найменш значимим – X_8 .

Для оцінки узагальненої міри узгодженості думок по всім факторам необхідно розрахувати коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{12 \times \sum_{j=1}^n \Delta_i^2}{(n^2(k^3 - k) - n \times \sum_{j=1}^n T_j)}, \quad (2.3)$$

де

$$T_i = \sum_{\dot{r}=1}^{l_j} (\dot{r}^3 - \dot{r}), \quad (2.4)$$

де $\dot{r}$ - чисельність груп однакових рангів j -го фахівця; l_j - кількість груп однакових рангів j -го фахівця.

Коефіцієнт конкордації для даної матриці значень становить 0,68. При повній погодженості фахівців в оцінці поставленої задачі $W=1$, а при повній відсутності погодженості $W=0$. $W=0,68$ вказує на наявність середнього ступеня узгодженості думок експертів.

З метою оцінки вагомості коефіцієнта конкордації розраховується критерій узгодження Пірсона:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta_i^2}{\frac{1}{12} (n \times k \times (k+1) - \frac{1}{k-1} \sum T_i)} = n \times (k-1) \times W, \quad (25)$$

Критерій узгодження Пірсона розрахований для даної матриці становить 54,4 та є більшим за табличне значення (15,51) для числа ступенів свободи $k-1 = 9-1 = 8$ при заданому рівні вагомості $\alpha = 0.05$. Враховуючи зазначене, можна зробити висновок, що $W = 0,68$ – величина не випадкова, а тому отримані результати мають сенс і можуть використовуватися в подальших дослідженнях.

Для розрахунку показників вагомості кожного фактору необхідно матрицю, отриману за результатами опитування (табл. 14) відобразити через матрицю перетворених рангів (табл. 20), використовуючи формулу:

$$s_{ij} = X_{max} - X_j, \quad (2.6)$$

$$\text{де } X_{max} = 9$$

Таблиця 2.21 – Матриця перетворених рангів

Фахівець, який бере участь в опитуванні	Ранги факторів, що включені в опитування								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
1	7,0	8,0	4,0	1,0	5,0	2,0	6,0	0,0	3,0
2	8,0	7,0	3,0	6,0	4,0	0,0	5,0	1,0	2,0
3	6,5	5,0	6,5	3,0	8,0	0,0	4,0	1,0	2,0
4	6,0	3,5	8,0	2,0	5,0	1,0	7,0	3,5	0,0
5	5,0	8,0	7,0	2,0	3,0	4,0	6,0	0,0	1,0
6	7,0	6,0	5,0	1,0	4,0	3,0	8,0	0,0	2,0
7	6,0	5,0	7,5	3,0	4,0	2,0	7,5	1,0	0,0
8	7,5	5,0	6,0	2,0	1,0	0,0	7,5	3,0	4,0
9	8,0	5,0	7,0	3,0	2,0	0,0	6,0	4,0	1,0
10	7,0	4,0	8,0	1,0	3,0	2,0	6,0	0,0	5,0
Сума рангів	68,0	56,5	62,0	24,0	39,0	14,0	63,0	13,5	20,0
Сума рангів всього	$\Sigma = 360$								
Вага фактору	0,189	0,157	0,172	0,067	0,108	0,039	0,175	0,038	0,056

На основі даних таблиці 2.21 будується діаграма вагомості факторів (рисунок 2.19).

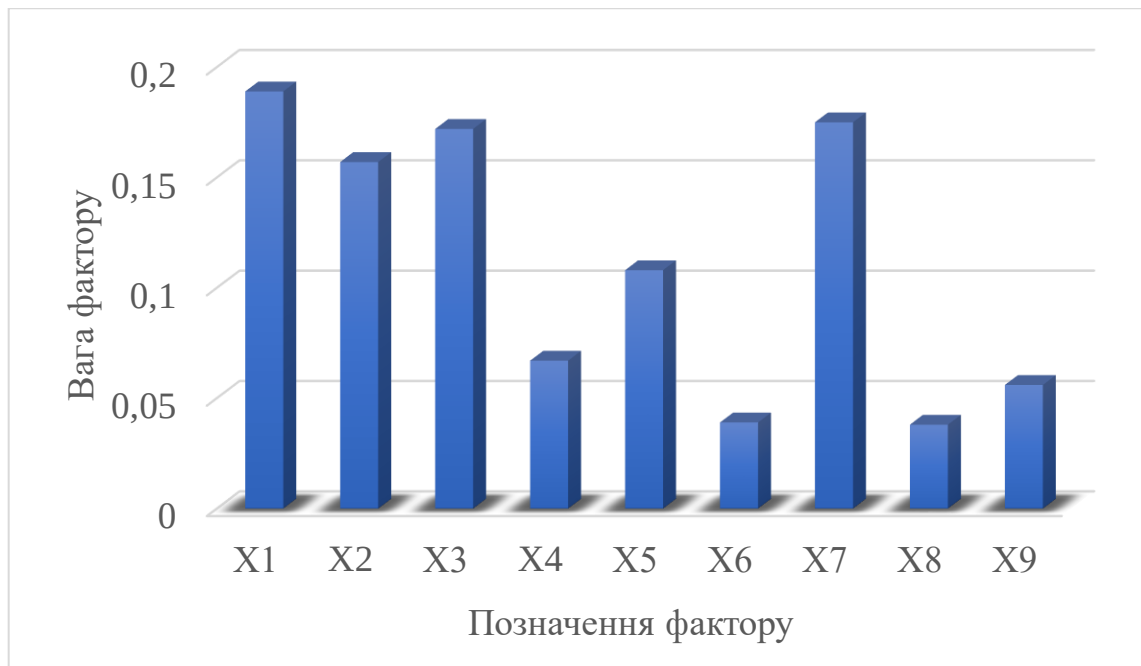


Рисунок 2.19 – Діаграма вагомості факторів

Отже, найбільш значимими є фактори X_1 , X_3 та X_7 , тобто температура змішування, вміст енергозберігуючої добавки та кількість асфальтобетонної крихти.

Висновки до розділу 2

1. Фізико-механічні характеристики сумішей, встановлені під час випробувань згідно з затвердженими методиками, відповідають вимогам чинних нормативних документів.

2. Аналіз результатів випробувань засвідчив, що використання енергозберігаючих технологій дає змогу на $(10 - 30) ^\circ\text{C}$ знизити температуру приготування та ущільнення усіх типів досліджених асфальтобетонних сумішей, а також орієнтовно на 10 % зменшити потрібний вміст бітуму (на 0,5 % від маси суміші). При цьому якість отриманих асфальтобетонів не погіршується, а за певними показниками має місце деяке покращення їх властивостей. Так на $(5 - 10) \%$ зростає міцність при температурі $20 ^\circ\text{C}$ та $50 ^\circ\text{C}$, на $(0,1 - 0,5) \%$ збільшується густина та на $(0,1 - 0,5) \%$ зростає коефіцієнт довготривалої водостійкості.

3. Зниження температури та скорочення часу перемішування суміші забезпечує енергозбереження та зменшує старіння бітумів, що сприяє підвищенню довговічності дорожнього одягу.

4. Подовження строків служби дорожніх одягів зменшує витрати на виконання ремонтних робіт і тим самим обумовлює ефективність технології теплих асфальтобетонів.

5. Використання меншої кількості вихідного бітуму у порівнянні з традиційними технологіями, що дозволяє зменшити вартість асфальтобетонної суміші.

6. Додавання у суміш асфальтобетонної крихти дозволяє зменшити використання природних мінеральних матеріалів та розширює можливість повторного використання зношених асфальтобетонних шарів.

7. За результатами аналізу основних факторів із використанням методу експертних оцінок встановлені найбільш значимі фактори, які впливають на фізико-механічні характеристики теплих асфальтобетонних сумішей. В якості факторів, що включені в опитування були прийняті основні технологічні та технічні параметри. Вибір параметрів здійснений на основі аналізу літературних джерел з урахуванням вимог [78]. За результатами досліджень встановлено, що найбільш значимими є такі фактори як: температура змішування, кількісний вміст енергозберігаючої добавки та кількість асфальтобетонної крихти.

Результати досліджень другого розділу викладено у наступних публікаціях [80 – 83].

РОЗДІЛ 3

ОПТИМІЗАЦІЯ НАЙБІЛЬШ ЗНАЧИМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИГОТУВАННЯ ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

3.1 Визначення раціональних значень основних технологічних параметрів

Дослідження авторів [69] показали, що при приготуванні асфальтобетонної суміші дуже важливо враховувати зміну властивостей бітуму, який є основною складовою, що характеризує поведінку асфальтобетону.

В процесі експлуатації асфальтобетону бітум старіє під дією різних факторів, таких як температура, кисень, світло та ультрафіолетове випромінювання [69].

Вплив високих технологічних температур призводить до випаровування низькомолекулярних компонентів органічного в'язучого масел і частково смол. Це робить в'язуче більш твердим, крихким і менш деформативним. Асфальтобетонна суміш з таким в'язучим не буде довговічною. Процес старіння бітуму продовжується і під час експлуатації асфальтобетонних шарів під дією температури повітря, кисню, світла та ультрафіолетового випромінювання, що ще більше знижує довговічність дорожнього одягу [72].

У зв'язку з цим під час приготування теплих асфальтобетонних сумішей доцільним є використання енергозберігаючих добавок, введення яких забезпечує відносно нові хімічні ефекти, що дають змогу покращити зручноукладаність, рухливість та енергозбереження сумішей, виготовлених за зменшених у порівнянні з традиційними гарячими сумішами температурах [76].

У той же час, на сьогоднішній день при наявності великої кількості різних видів добавок відсутні точні концентраційні залежності властивостей асфальтобетону від кількісного вмісту добавок при різній кількості бітуму для різних типів асфальтобетонних сумішей [80].

Враховуючи високу ринкову вартість добавок, актуальним є визначення її раціональної кількості залежно від вмісту бітуму при якій комплекс фізико-механічних властивостей асфальтобетону буде найкращим [80].

Важливою складовою технологічного процесу є температура змішування суміші. Автори [9, 69, 70] встановили вплив температури перемішування суміші на її однорідність. Проведені дослідження показали, що підвищення однорідності суміші досягається збільшенням температури нагріву [9, 69, 70].

Проте дослідження граничних значень температури змішування теплих асфальтобетонних сумішей не дає в повній мірі інформації щодо раціональних температурних режимів, оскільки діапазон температур досить широкий – (120 – 160) °С. Таким чином, температура виготовлення асфальтобетонної суміші є вагомим фактором, що визначають якісь асфальтобетонного шару покриття, а визначення її найбільш раціонального значення є актуальною науковою задачею, яка має як теоретичне так і практичне значення.

Іншим вагомим фактором, що впливає на якісь асфальтобетону є кількість асфальтобетонної крихти, що додається у суміш.

Асфальтобетонна крихта у суміш додається холодна та волога, що впливає на температуру виготовлення та зерновий склад суміші. Під час виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей із додаванням асфальтобетонної крихти потрібно ураховувати якість крихти, а саме її зерновий склад та кількість бітуму.

Таким чином, за результатами літературного аналізу досвіду застосування технології виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей необхідно відмітити, що цілу низьку наукових робіт присвячено встановленню граничних значень технологічних температур приготування асфальтобетону. Проте, питання оптимізації технологічних процесів виробництва теплих асфальтобетонних сумішей потребує вирішення. Рішення, що отримані в роботах [9, 69, 70] здебільшого ґрунтуються на встановленні впливу окремих факторів на фізико-механічні властивості асфальтобетону і відсутні результати досліджень впливу декількох вагомих факторів одночасно, що відповідає реальній ситуації під час застосування теплих асфальтобетонів. Враховуючи це, актуальною задачею є дослідження впливу декількох вагомих факторів одночасно на кінцеві фізико-механічні характеристики асфальтобетону.

3.1.1. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є визначення раціонального співвідношення сукупного впливу факторів температури виготовлення теплої асфальтобетонної суміші,

вмісту енергозберігаючої добавки та кількості доданої асфальтобетонної крихти. При цьому, асфальтобетонна суміш за показниками фізико-маханічних властивостей повинна задовольняти стандартні вимоги до гарячих асфальтобетонних сумішей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити математичну модель, що об'єктивно характеризує температурний режим виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей;
- провести експериментальні дослідження впливу цих параметрів на фізико-механічні показники;
- встановити раціональні температурні режими виготовлення асфальтобетонної суміші, вмісту енергозберігаючої добавки та кількості доданої асфальтобетонної крихти.

3.1.2. Предмет досліджень

Тепла асфальтобетонна суміш, що використовувалась при проведенні досліджень за зерновим складом та вмістом бітуму відповідала суміші гарячій, дрібнозернистій, асфальтобетон щільний, типу А, непереривчастої гранулометрії, марки І відповідно до [67].

В якості енергозберігаючої добавки використовували добавку LowTherm 4G [32], застосування якої дозволяє забезпечити енергозбереження суміші.

3.1.2. Визначення раціональних складів

Дослідження передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та випробування асфальтобетонів.

Для приготування асфальтобетонів використовували: щебінь фракції (10-20) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75-98 [74]; щебінь фракції (5-10) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75-98 [74]; пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід фракції (0-5) мм згідно з ДСТУ Б.В.2.7-210:2010 [75]; мінеральний порошок згідно з ДСТУ Б В.2.7-121:2014 [76]; АК (асфальтобетонна крихта); бітум марки БНД 70/100, що відповідає вимогам ДСТУ 4044:2019 [77].

Підбирання зернового складу асфальтобетонної суміші. Було підібрано зернові склади так, щоб за зерновим складом суміші відповідали таблиці 6 ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [78] для гарячого дрібнозернистого щільного

асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А із додаванням до складу асфальтобетонної крихти у кількості 10 %, 20 %, 30 %.

Результати визначення зернового складу щебеню, відсіву, мінерального порошку та асфальтобетонної крихти наведені в табл. 3.1 – 3.5.

Таблиця 3.1 – Зерновий склад щебеню фр. (10-20) мм

Мінеральний матеріал	Часткові залишки на ситах, %									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Щебінь фракції 10-20 мм	9,5	40,3	44,9	5,2	-	-	-	-	-	-

Таблиця 3.2 – Зерновий склад щебеню фр. (5–10) мм

Мінеральний матеріал	Часткові залишки на ситах, %									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Щебінь фракції 5-20 мм	-	-	3,8	75,9	12,8	5,4	-	-	-	-

Таблиця 3.3 – Зерновий склад відсіву фр. (0-5) мм

Мінеральний матеріал	Часткові залишки на ситах, %									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Відсів фракції 0-5 мм	-	-	-	3,0	21,9	20,9	14,9	13,3	10,5	8,6

Таблиця 3.4 – Зерновий склад мінерального порошку

Мінеральний матеріал	Часткові залишки на ситах, %					
	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	піддон
Мінеральний порошок				6,2	16,2	77,6

Таблиця 3.5 – Результати визначення зернового складу асфальтобетонної крихти

Матеріал	Вміст мінеральних зерен, % за масою, дрібніше даного розміру, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Асфальтобетонна крихта	97,0	86,2	72,6	52,7	37,1	29,1	23,3	18,0	13,4	8,9
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011	95	83	67	45	27	18	12	9	6	5
	100	92	81	55	42	33	26	20	14	11
Відповідність вимогам	+		+	+	+	+	+	+	+	+

Кількість бітуму в асфальтобетонній крихті становить 6,53 %.

Таблиця 3.6 – Результати визначення зернового складу з вмістом асфальтобетонної крихти (10 %)

Мінеральний матеріал	Вміст мінеральних зерен в суміші, % за масою	Вміст мінеральних зерен, % за масою, дрібніше даного розміру, мм										
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	др.
Підібраний зерновий склад												
Асфальтобетонна крихта	10	0,6	0,8	1,4	1,0	1,3	1,7	0,7	0,8	0,6	0,4	0,6
Щебінь фр. 10-20 мм	25	2,4	10,1	11,2	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Щебінь фр. 5-10 мм	24	0,0	0,0	0,9	18,6	3,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Відсів фр. 0-5 мм	34	0,0	0,0	0,0	1,1	8,0	7,6	5,4	4,9	3,8	3,2	0,0
Мінеральний порошок	7							0,0	0,0	0,4	1,1	5,4
Разом		3,0	10,9	13,6	22,0	12,4	10,7	6,2	5,6	4,9	4,7	6,0
		97,0	86,1	72,5	52,7	37,1	27,4	21,2	15,6	10,7	6,0	
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011		95	83	67	45	27	18	12	9	6	5	95
		100	92	81	55	42	33	26	20	14	11	100
Відповідність вимогам		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 3.7 – Результати визначення зернового складу з вмістом асфальтобетонної крихти (20 %)

Мінеральний матеріал	Вміст мінеральних зерен в суміші, % за масою	Вміст мінеральних зерен, % за масою, дрібніше даного розміру, мм										
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	др.
Підібраний зерновий склад												
Асфальтобетонна крихта	20	1,2	1,6	2,9	1,9	2,6	3,5	1,5	1,6	1,2	0,8	1,1
Щебінь фр. 10-20 мм	20	1,9	8,1	9,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Щебінь фр. 5-10 мм	19	0,0	0,0	0,7	14,7	2,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Відсів фр. 0-5 мм	34	0,0	0,0	0,0	1,1	8,0	7,6	5,4	4,9	3,8	3,2	0,0
Мінеральний порошок	7							0,0	0,0	0,4	1,1	5,4
Разом		3,1	9,7	12,6	18,8	13,1	12,2	6,9	6,4	5,5	5,1	6,6
		96,9	87,3	74,6	52,7	37,1	30,5	23,6	17,2	11,7	6,6	
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011		95	83	67	45	27	18	12	9	6	5	95
		100	92	81	55	42	33	26	20	14	11	100
Відповідність вимогам		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Таблиця 3.6 – Результати визначення зернового складу з вмістом асфальтобетонної крихти (30 %)

Мінеральний матеріал	Вміст мінеральних зерен в суміші, % за масою	Вміст мінеральних зерен, % за масою, дрібніше даного розміру, мм										
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	др.
Підібраний зерновий склад												
Асфальтобетонна крихта	30	1,8	2,4	4,3	2,9	4,0	5,2	2,2	2,4	1,8	1,2	1,7
Щебінь фр. 10-20 мм	18	1,7	7,3	8,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Щебінь фр. 5-10 мм	17	0,0	0,0	0,7	13,2	2,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Відсів фр. 0-5 мм	28	0,0	0,0	0,0	0,9	6,6	6,3	4,5	4,0	3,1	2,6	0,0
Мінеральний порошок	7							0,0	0,0	0,4	1,1	5,4
Разом		3,5	9,6	13,1	17,9	12,8	12,5	6,7	6,4	5,4	5,0	7,2
		96,5	86,9	73,8	52,7	37,1	30,6	23,9	17,5	12,1	7,2	
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011		95	83	67	45	27	18	12	9	6	5	95
		100	92	81	55	42	33	26	20	14	11	100
Відповідність вимогам		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

На рисунках 3.1 – 3.4 наведені графіки підбирання зернового складу.

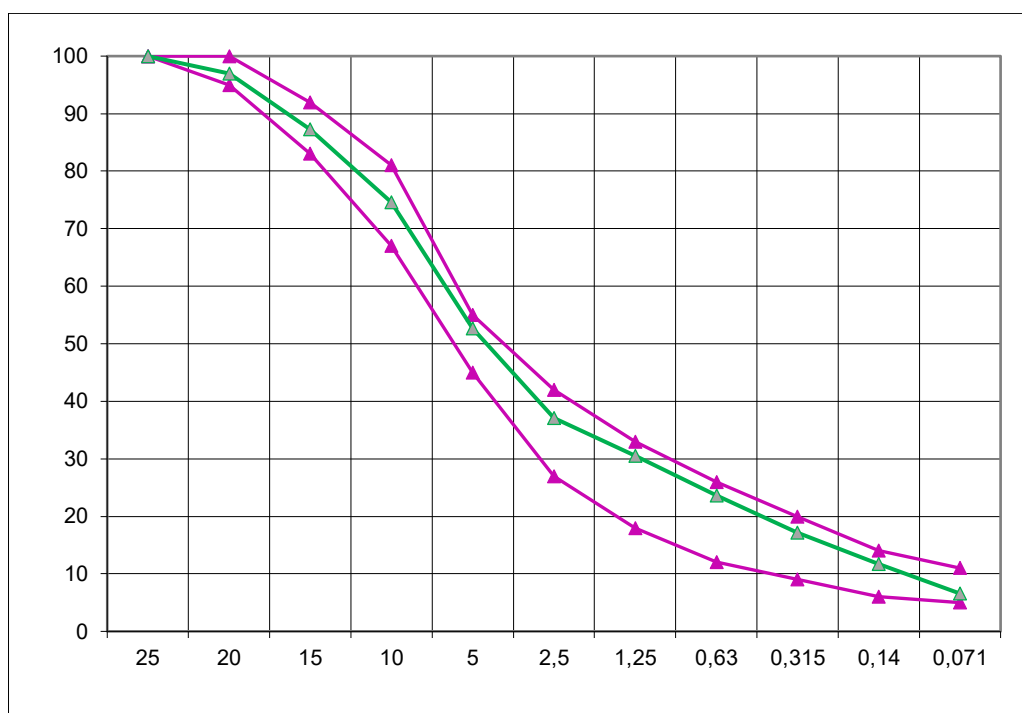


Рисунок 3.1 – Графік підбирання зернового складу асфальтобетону дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А

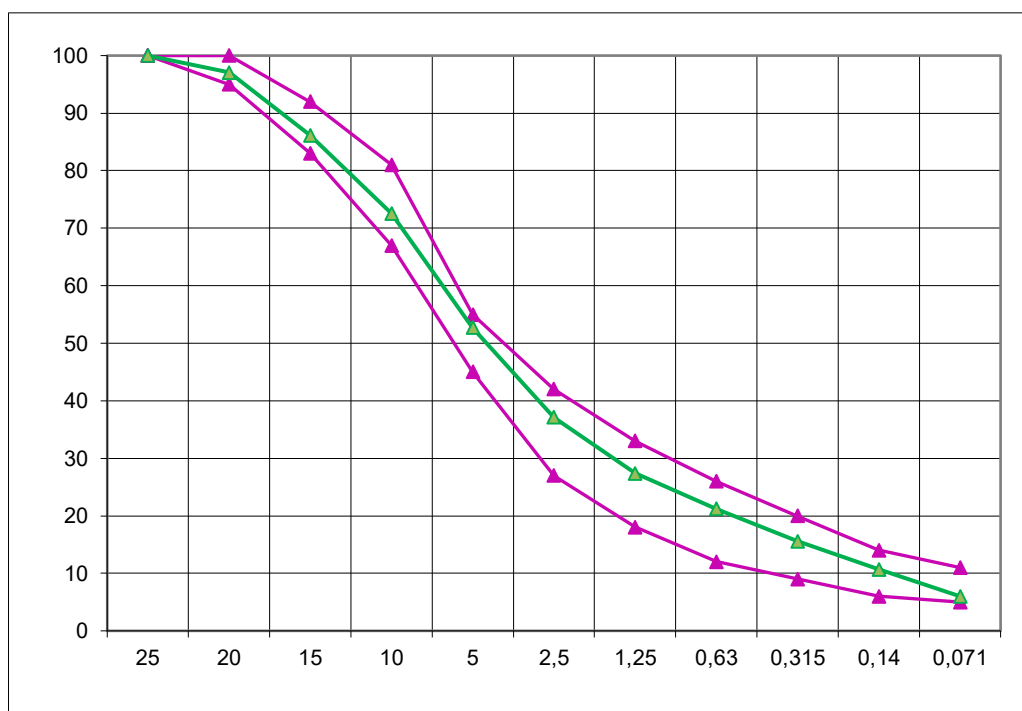


Рисунок 3.2 – Графік підбирання зернового складу асфальтобетону із додаванням асфальтобетонної крихти – 10 %

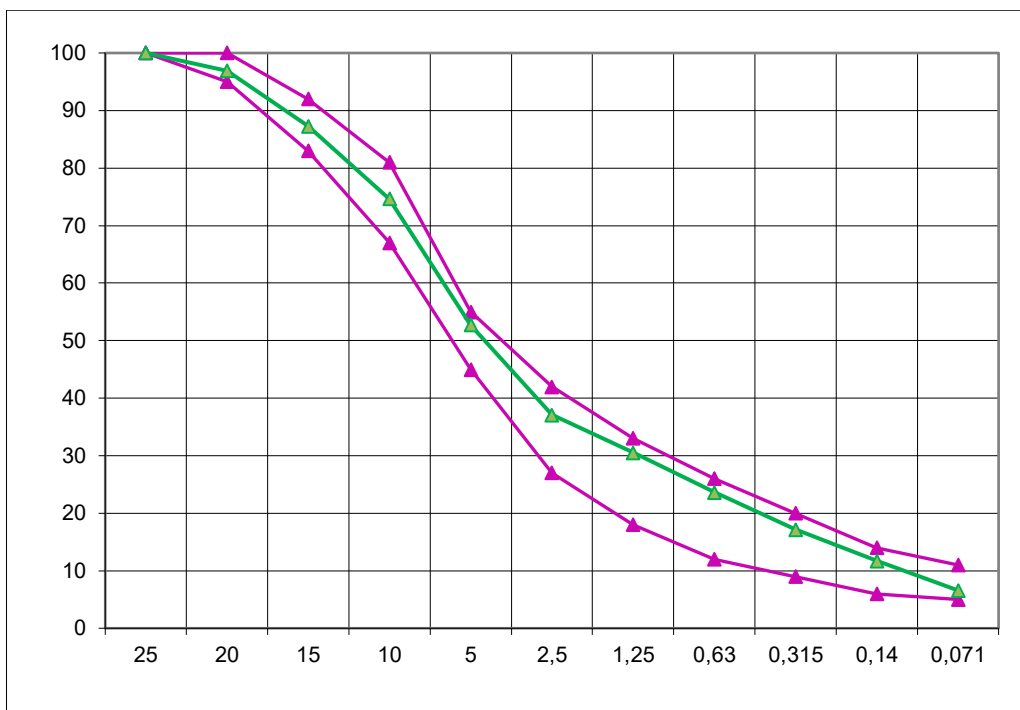


Рисунок 3.3 – Графік підбирання зернового складу асфальтобетону із додаванням асфальтобетонної крихти – 20 %

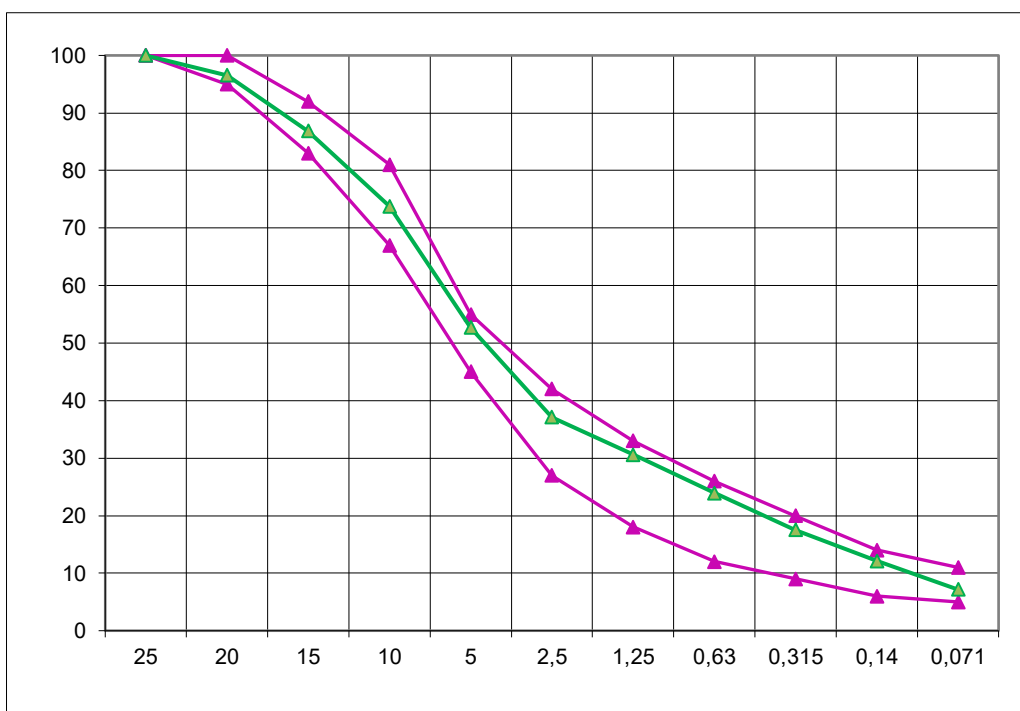


Рисунок 3.4 – Графік підбирання зернового складу асфальтобетону із додаванням асфальтобетонної крихти – 30 %

Для проведення дослідження було прийнято рішення досліджувати три найбільш вагомні фактори на трьох рівнях. З урахуванням вагомості впливу для визначення раціональних складів теплої асфальтобетонної суміші були прийняті

температура перемішування, кількість добавки та кількість доданої асфальтобетонної крихти.

Були проведені випробування гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А із додаванням до складу асфальтобетонної крихти у кількості 10 %, 20 %, 30 % на бітумі БНД 70/100 модифікованого за допомогою енергозберігаючої добавки у кількості 0,1 %, 0,15 %, 0,2 % від кількості суміші, з вмістом бітуму 4,5% за різної температури змішування – 130 °С, 135 °С, 140 °С.

Приготування зразків асфальтобетонів здійснювалось з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операції згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [78] та ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [79].

Зразки для випробувань фізико-механічних властивостей виготовлені пресуванням за допомогою автоматичного пресу «MATEST» (рисунок 3.5).

З підібраних сумішей було виготовлено зразки циліндричної форми з діаметром $(71,4 \pm 0,1)$ мм і висотою $(71,4 \pm 0,1)$ мм. Кількість суміші для виготовлення зразка певної висоти повинна коригуватися в залежності від її щільності.



Рисунок 3.5 – Загальний автоматичного пресу «MATEST»



Рисунок 3.6 – Загальний вид зразків



Рисунок 3.7 – Загальний вид зразків під час термостатування зразків за температури 50 °C та 0 °C

Математичні моделі були побудовані із використанням методу експериментально-статистичного моделювання [87-95].

Кількість експериментів, які повинні проводитись, можливо розрахувати за формулою [83]:

$$N_e = 3^n, \quad (3.3)$$

де n – кількість факторів, 3 – кількість рівнів. За формулою (3.3) визначено кількість експериментів, що потрібні для вирішення завдань оптимізації – 27. Вибрані інтервали варіювання факторів та їх кодування наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення факторів варіювання

Ч.ч.	Код фактору	Фізичний зміст фактору	Одиниця виміру	Інтервал варіювання	Значення фактору		
					Рівні		
					-1	0	+1
1	X ₁	Температура змішування, T	°C	5	140	135	130
2	X ₂	Вміст енергозберігаючої добавки, C _д	%	0,05	0,1	0,15	0,2
3	X ₃	Вміст асфальтобетонної крихти, C _ф	%	10	10	20	30

Параметрами оптимізації вибрані показники асфальтобетонів, які показують поведінку їх роботи в критичних умовах – показник водонасичення, міцність за стиску при температурі 0 °C та 50 °C. Граничні значення вибрано для дрібнозернистого асфальтобетону, типу А, непереривчастої гранулометрії, марки ІІ відповідно до [67] та наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення параметрів для оптимізації

Ч.ч.	Код фактору	Фізичний зміст фактору	Одиниця виміру	Граничні значення функції відгуку
1	Y ₁	Водонасичення, W, не більше	%	3,5
2	Y ₂	Границя міцності на стиск при 0 °C, R _{ст} ⁰ , не більше	МПа	13,0
3	Y ₃	Границя міцності на стиск при 50 °C, R _{ст} ⁵⁰ , не менше	МПа	1,1

За основу математичної моделі прийнято рівняння регресії що представлене у вигляді поліному другого ступеню:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i<j}^k b_{ij} x_i x_j \quad (3.4)$$

де b_0 – вільний член рівняння;

b_1 – коефіцієнти лінійних членів рівняння;

b_{ij} – коефіцієнти членів парних взаємодій рівняння;

x_i, x_j – кодований вид вхідних факторів.

Для визначення коефіцієнтів b_0, b_1, b_{ij} необхідно скласти і вирішити 3 рівняння, невідомими в яких є параметри даної функції, тому необхідно провести як мінімум 27 експериментів за планом повного факторного експерименту. Експерименти проводили з урахуванням вимог [78].

3.1.4. Результати вибору раціонального співвідношення температури перемішування суміші, вмісту енергозберігаючої добавки та кількості доданої асфальтобетонної крихти при виготовленні теплих асфальтобетонних сумішей

Для побудови математичної моделі та оцінки значень функцій параметрів оптимізації було проведено багатофакторний експеримент. Матриця планування багатофакторного експерименту та результати дослідів наведені в табл. 3. За остаточний результат кожної серії дослідів приймали середнє арифметичне значення результатів трьох випробувань для кожного значення функції відгуку.

Під час проведення досліджень було визначено довірчий інтервал для кожного експерименту і проведено його порівняння із загальним розкидом значень.

В результаті отримані коефіцієнти рівняння регресії, на основі яких встановлені математичні моделі, що характеризують функції відгуку.

Таблиця 3.3 – Матриця планування, результати дослідів

Номер дослідів	Порядок проведення дослідів	Значення факторів варіювання						Значення функції відгуку		
		Кодовані			Натуральні					
		X ₁ , %	X ₂ , %	X ₃ , %	X ₁ , %	X ₂ , %	X ₃ , %	Y ₁ , %	Y ₂ , МПа	Y ₃ , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	6	-1	-1	-1	130	10	0,1	2,01	9,31	1,21
2	7	-1	0	-1	130	10	0,15	1,96	9,22	1,23
3	9	-1	1	-1	130	10	0,2	1,91	9,13	1,26
4	4	0	-1	-1	130	20	0,1	2,5	11,62	1,21
5	3	0	0	-1	130	20	0,15	2,46	11,53	1,31
6	1	0	1	-1	130	20	0,2	2,48	11,53	1,41
7	2	1	-1	-1	130	30	0,1	2,85	12,39	1,46
8	6	1	0	-1	130	30	0,15	2,76	12,93	1,46
9	8	1	1	-1	130	30	0,2	2,89	12,53	1,37
10	17	-1	-1	0	135	10	0,1	1,93	8,05	1,24
11	16	-1	0	0	135	10	0,15	1,87	8,06	1,29
12	18	-1	1	0	135	10	0,2	1,83	8,12	1,32
13	11	0	-1	0	135	20	0,1	2,04	9,15	1,47

Кінець таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	12	0	0	0	135	20	0,15	1,95	9,07	1,5
15	14	0	1	0	135	20	0,2	1,76	8,93	1,51
16	15	1	-1	0	135	30	0,1	2,54	10,42	1,49
17	10	1	0	0	135	30	0,15	2,46	10,08	1,53
18	13	1	1	0	135	30	0,2	2,48	9,93	1,39
19	19	-1	-1	1	140	10	0,1	1,87	7,56	1,37
20	21	-1	0	1	140	10	0,15	1,81	7,55	1,36
21	20	-1	1	1	140	10	0,2	1,72	7,38	1,39
22	24	0	-1	1	140	20	0,1	2,25	8,51	1,5
23	22	0	0	1	140	20	0,15	2,35	8,34	1,53
24	25	0	1	1	140	20	0,2	2,36	8,36	1,55
25	23	1	-1	1	140	30	0,1	2,48	10,85	1,61
26	27	1	0	1	140	30	0,15	2,56	10,34	1,59
27	26	1	1	1	140	30	0,2	2,51	10,22	1,49

Для побудови математичних моделей за основу взято квадратичні моделі.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_i^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.5)$$

Коефіцієнти b_0 , b_i , b_{ij} і b_{ii} визначали за формулами

$$b_0 = a_1 \sum_{u=1}^N \bar{y}_u - a_2 \sum_1^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{y}_u, \quad (3.6)$$

$$b_i = a_3 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \bar{y}_u, \quad (3.7)$$

$$b_{ij} = a_4 \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u, \quad (3.8)$$

$$b_{ii} = a_5 \sum_u^N x_{iu}^2 \bar{y}_u + a_6 \sum_i^k x_{iu}^2 \bar{y}_u - a_7 \sum_{u=1}^N \bar{y}_u. \quad (3.9)$$

де $a_1, a_2 \dots a_7$ – табличні значення коефіцієнтів.

За результатами розрахунків були отримані коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_0 = 673,11; b_1 = -15,72; b_2 = -0,25; b_3 = -2,43; b_{11} = 0,03; b_{22} = 5,56; b_{33} = 0,09; b_{12} = 0,63; b_{13} = 0,0001; b_{23} = 0,04; b_{123} = 0,0008;$$

Математична модель залежності водонасичення від температури виготовлення, кількості доданої асфальтобетонної крихти та вмісту енергозберігаючої добавки:

$$Y_1 = 673,31 - 15,72X_1 - 0,25X_2 - 2,43X_3 + 0,03X_1^2 + 5,56X_2^2 + 0,09X_3^2 + 0,63X_1X_2 + 0,0001X_1X_3 + 0,04X_2X_3 + 0,0008X_1X_2X_3 \quad (3.10)$$

У статистичному аналізі, коефіцієнти регресії вважаються значущими, якщо розрахункове значення t -критерію Стьюдента (t_p) перевищує табличне значення t_T для заданого рівня значущості та числа ступенів свободи. Це означає, що вплив коефіцієнта на залежну змінну є статистично значущим. ($t_T = 2,13$ для рівня 0,05 та довірчої вірогідності 0,95).

$$t_p \{b_0\} = \frac{|b_0|}{S_F^2} \geq t_T, \quad (3.11)$$

де S_F^2 – середньоквадратичне відхилення вихідного параметра, $S_F=0,35$.

За розрахунками визначено, що значимими є такі коефіцієнти $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{33}$. Відкинувши незначущі, отримуємо дану математичну модель:

$$Y_1 = 673,11 - 15,72X_1 - 0,25X_2 - 2,43X_3 + 5,56X_2^2 + 0,63X_{12} \quad (3.12)$$

Для оцінки адекватності отриманого рівняння регресії використовується F -критерій Фішера.

Для оцінки адекватності отриманого рівняння регресії скористаємося F -критерієм Фішера. Рівняння вважається адекватним, якщо розрахункове значення F_p менше табличного значення F_T , яке знаходиться в залежності від довірчої ймовірності і числа ступенів свободи. Розрахункове значення критерію Фішера визначили за формулами:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_F^2} \text{ при } S_{ad}^2 > S_F^2; \quad F_p = \frac{S_F^2}{S_{ad}^2} \text{ при } S_F^2 > S_{ad}^2. \quad (3.13)$$

Дисперсія адекватності S_{ad}^2 визначали за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_u - \bar{y}_u)^2}{N - m}, \quad (3.14)$$

де $\overline{Y_u}$ – середнє значення вихідного параметру;

N - число дослідів, $N = 27$;

m –число значущих коефіцієнтів рівняння регресії.

В результаті обчислень отримано $S_{ad}^2 = 0,1274$.

Для розглянутого завдання прийнята довірна ймовірність $p = 0,95$,
 $(F_p = 2,437) < (F_T = 2,96)$ – математична модель адекватна.

При розрахунку неповного квадратичного рівняння (за формулою 1) для визначення залежності границі міцності на стиск при 0°C та 50°C отримали неадекватні математичні моделі, тому за

У результаті розрахунків коефіцієнтів регресії та з урахуванням їх значимості отримали наступну математичну модель залежності границі міцності на стиску при 0°C :

$$Y_2 = 166,77 - 2,43X_1 - 0,92X_2 - 9,64X_3 + 1,11X_2^2 + 0,71X_1X_2 \quad (3.15)$$

Оцінка адекватності моделі за допомогою критерію Фішера виконувалося за формулою:

$$F_p = \frac{S_{LF}^2}{S_{\{y\}}^2} \leq F_\alpha^T(f_{LF}, f_y), \quad (3.16)$$

де S_{LF}^2 – дисперсія за рахунок неадекватності моделі, розраховано за формулою:

$$S_{LF}^2 = \frac{SS_{LF}}{f_{LF}}, \quad (3.20)$$

де SS_{LF} – сума квадратів відхилень, пов’язана з адекватністю моделі, f_{LF} – число ступенів свободи,

$$SS_{LF} = \theta \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_u), \quad (3.17)$$

де θ – кількість дубльованих дослідів, $\theta = 3$;

y_u – розраховане значення цільової функції.

Дисперсію експерименту $S_{\{y\}}^2$ визначено за формулою:

$$S_{\{y\}}^2 = \sum_{u=1}^N \sum_{q=1}^{\theta} \frac{(y_{uq} - \bar{y}_u)^2}{N \cdot (n-1)} = \frac{SS_y}{f_y}, \quad (3.18)$$

SS_y – сума квадратів відхилень, пов’язана з похибкою дослідів, f_y – число ступенів свободи,

У результаті обчислень критерій Фішера становить ($F_p = 0,556$) $< (F_T = 2,96)$ – математична модель адекватна.

Аналогічно визначено математичну модель залежності границі міцності на стиск при 50°C.

$$Y_3 = -8,22 - 2,48X_2 + 7,78X_2^2 + 0,65X_{13} + 2,48X_{23} - 9,09X_{123} \quad (3.19)$$

Розрахункове значення коефіцієнту Фішера зазначеної моделі менше табличного ($F_p = 1,922$) $< (F_T = 2,96)$, що свідчить про її адекватність.

З метою оцінки придатності отриманих моделей визначали показники відносної похибки між розрахованими та експериментальними значеннями. Для кожної з моделей зазначений показник не перевищує 5 %, тому моделі є

адекватними. Результати відносних похибок відповідних моделей представлено на рис. 3.8.

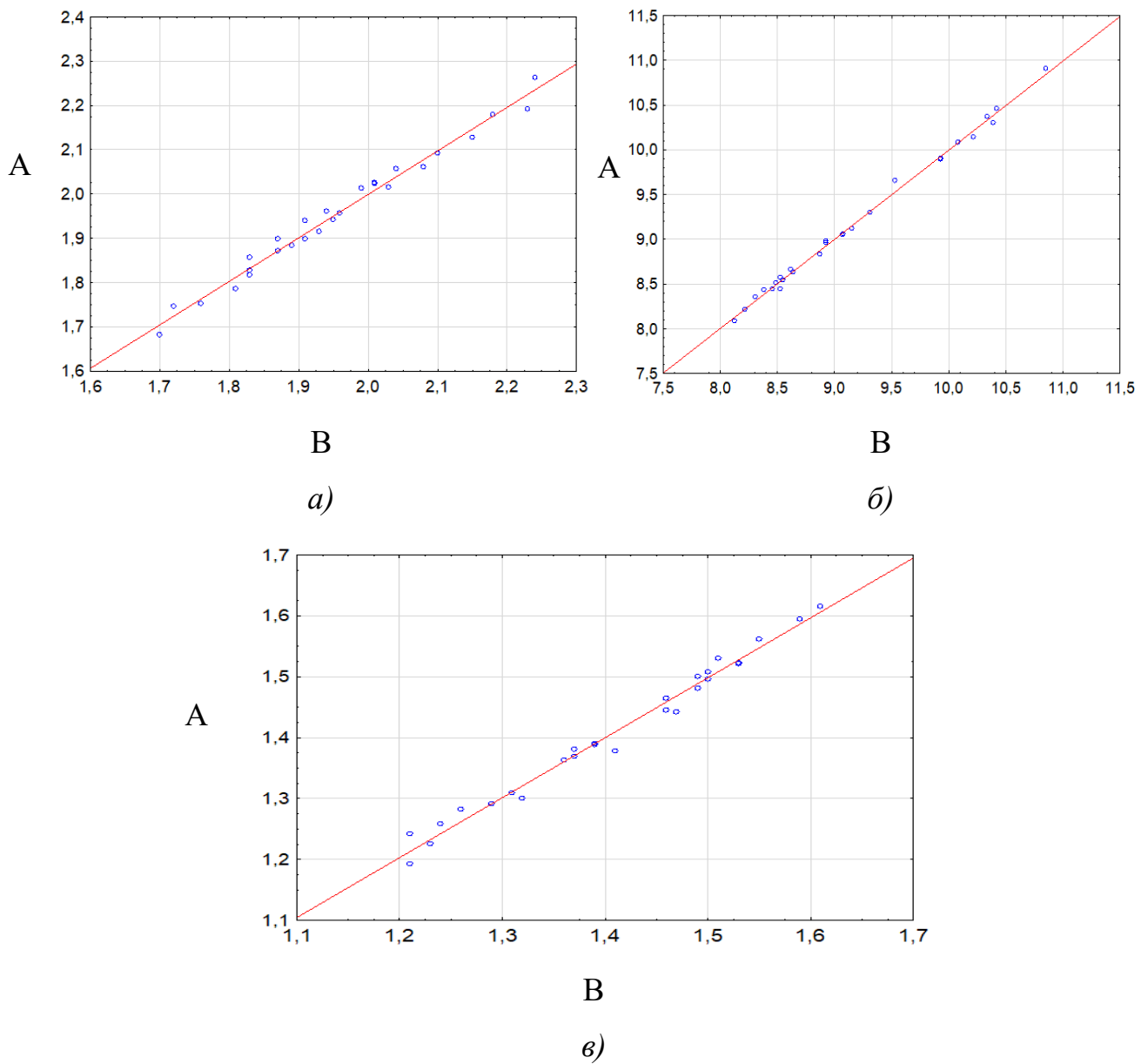


Рисунок 3.8 – Графік розрахованих та експериментальних значень функції відгуку, а також оцінка відносної похибки:

A – Розрахункові значення; B – Експериментальні значення; а, – для Y1; б – для Y2; в – для Y3

На рис. 3.9 наведені тривимірні графічні залежності параметрів оптимізації – водонасичення, міцності на стиск при 0 °C та при 50 °C від температури змішування суміші, вмісту енергозберігаючої добавки та кількості доданої асфальтобетонної крихти.

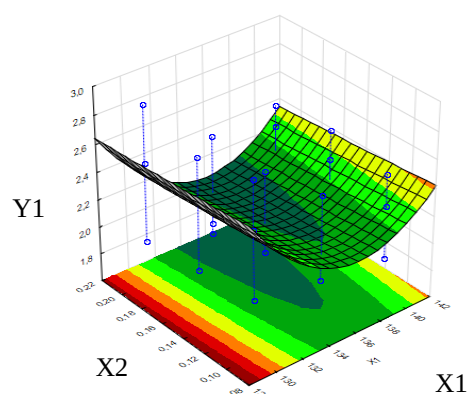
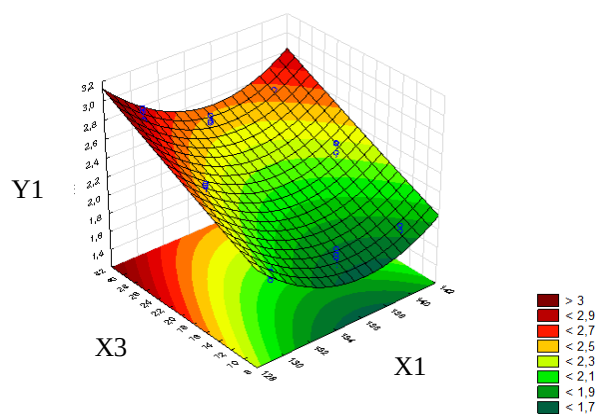
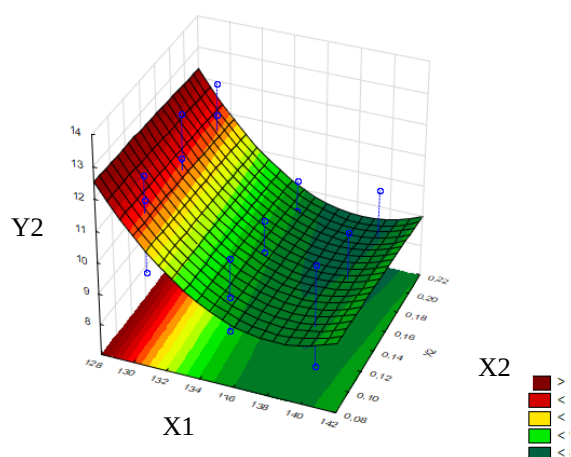
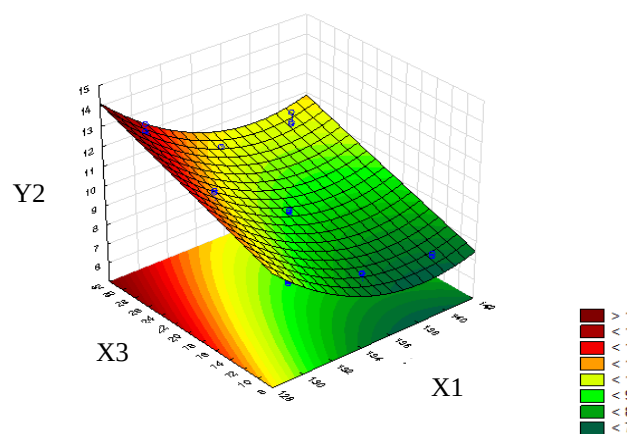
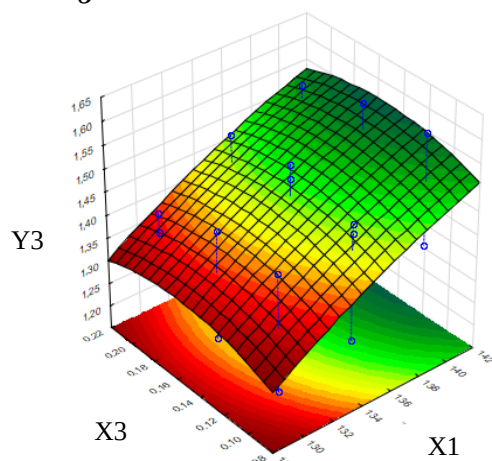
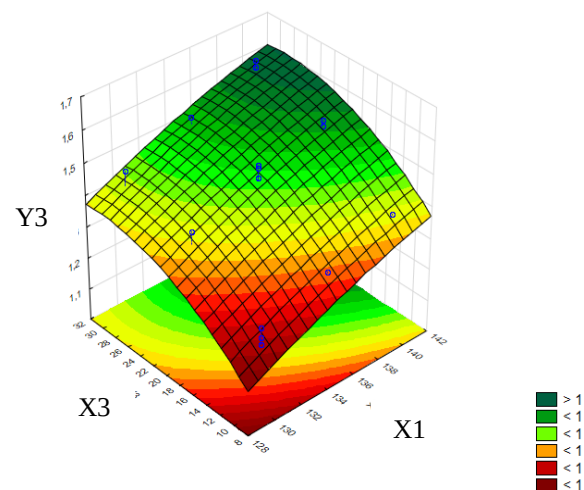
*a**б**в**г**д**е*

Рисунок 3.9 – Тривимірні графічні залежності: *a* – залежність Y_1 від X_1 та X_2 ; *б* – залежність Y_1 від X_1 та X_3 ; *в* – залежність Y_2 від X_1 та X_2 ; *г* – залежність Y_2 від X_1 та X_3 ; *д* – залежність Y_3 від X_1 та X_2 ; *е* – залежність Y_3 від X_1 та X_3

Виконуючи процедури оптимізації температур виготовлення суміші, вмісту енергозберігаючої добавки та кількості доданої асфальтобетонної крихти під час приготування теплих асфальтобетонних сумішей зображено на рис. 3.10. З цією метою були вибрані значення бажаності для кожної функції відгуку. При виборі враховували їх граничні значення фізико-механічних показників, що наведені в табл. 3.3.

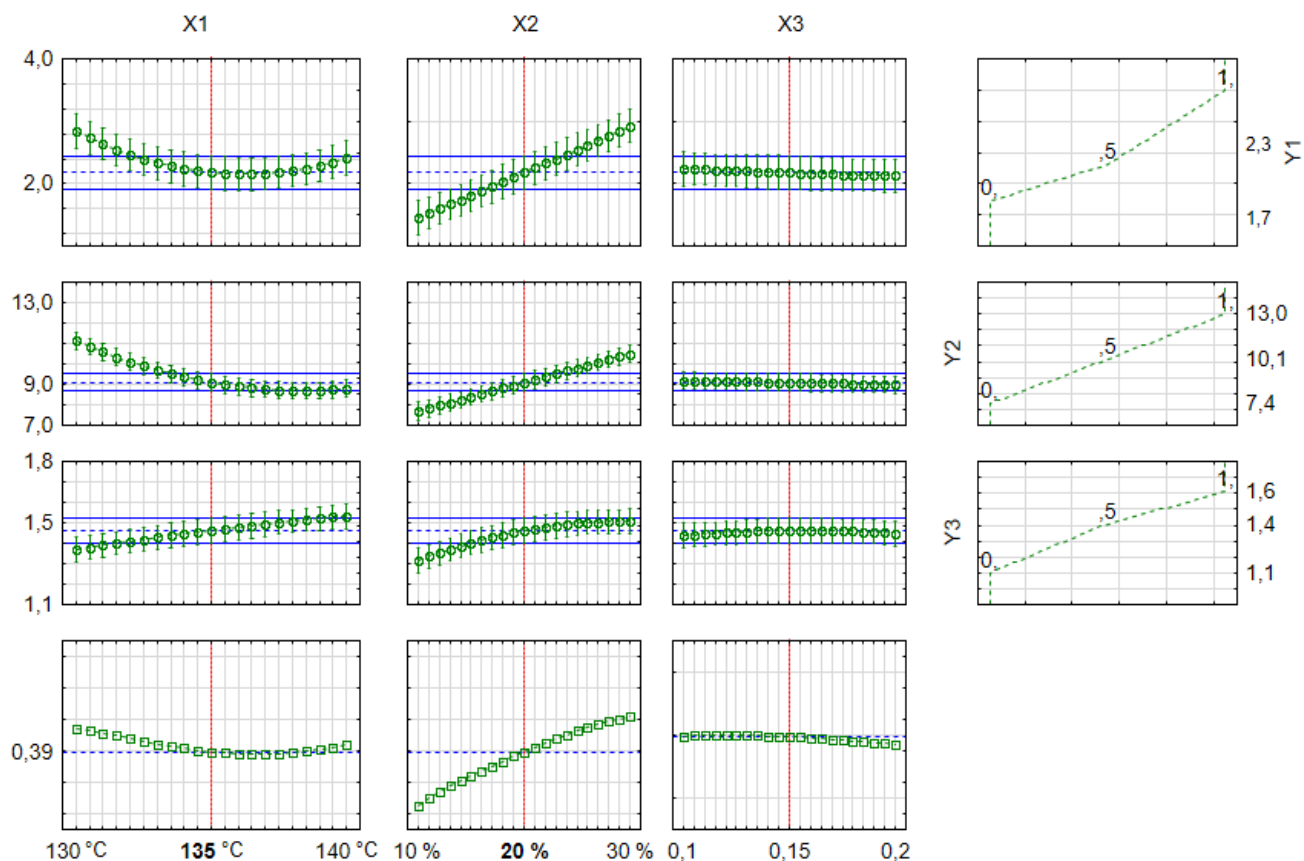


Рисунок 3.10 – Графіки знаходження раціонального співвідношення температур змішування суміші, вмісту енергозберігаючої добавки та кількості доданої асфальтобетонної крихти

Аналізуючи графіки рис. 3.10 визначені найбільш раціональні значення досліджуваних параметрів: температура змішування суміші – 135 °C; вміст енергозберігаючої добавки – 0,15 %, кількість доданої асфальтобетонної крихти – 20 %. Враховуючи граничні значення параметрів оптимізації встановлені раціональні області досліджуваних параметрів: температура змішування суміші – (133 – 138) °C; вміст енергозберігаючої добавки – (0,12 – 0,17) %; кількість доданої асфальтобетонної крихти – (18 – 22) %.

3.1.5. Обговорення результатів дослідження

В результаті застосування методу експериментально-статистичного моделювання було встановлено раціональний інтервал технологічних температур виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей, раціональний вміст енергозберігаючої добавки а також раціональну кількість асфальтобетонної крихти, при яких досягаються максимальні значення комплексу фізико-технічних показників асфальтобетону.

Раціональні співвідношення досліджуваних факторів дозволять максимально ефективно обрати технологічні режими виготовлення асфальтобетонної суміші і, як результат, отримати економічний ефект за рахунок скорочення енерговитрат.

Зменшення технологічної температури перемішування суміші мінімізує її вплив на процес старіння бітуму під час її розігріву та сприяє збільшенню терміну служби дорожнього покриття. Поряд зі зменшенням витрат палива на розігрівання складників, що позитивно відобразиться на вартості робіт з виготовлення суміші, зменшується негативний вплив на навколишнє середовище.

Отримані математичні моделі відображають залежності водонасичення теплового асфальтобетону, його межі міцності при стиску від температури змішування, вмісту енергозберігаючої добавки та кількості асфальтобетонної крихти, що дозволяє направлено регулювати властивості асфальтобетонної суміші в залежності від зміни умов застосування.

Проте необхідно відмітити, що результати даного дослідження справедливі лише для виготовлення дрібнозернистого щільного асфальтобетону, типу А, непереривчастої гранулометрії, марки І відповідно до [67] з використанням добавки визначеного виду.

У той же час подальші наукові дослідження будуть спрямовані на адаптацію отриманих результатів для можливості їх застосування для різних умов: різні типи асфальтобетону; різний вміст бітуму, що визначає раціональний вміст енергозберігаючої добавки; можливість додавання асфальтобетонної крихти тощо.

Отримані результати дослідження можуть бути використані на практиці при встановленні раціональних технологічних параметрів роботи під час виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей.

3.2 Дослідження формування структури теплих асфальтобетонних сумішей

Формування структури в асфальтобетоні починається з моменту об'єднання мінеральних матеріалів з бітумом і закінчується при ущільненні в процесі будівництва і далі під рухом автомобілів. Комплекс властивостей асфальтобетону залежить від технологічних параметрів виробництва, що визначаються основними періодами:

- Перший – активне структуроутворення відбувається при об'єднанні бітуму з мінеральними матеріалами. В системі формуються мікроструктурні зв'язки.
- Другий – зближення структурних елементів суміші при укладанні та ущільненні. В асфальтобетоні формується макроструктура.
- Третій – стабілізація мікроструктурних зв'язків в асфальтобетоні в процесі експлуатації покриття.

Перший період технологічного процесу охоплює підігрів матеріалів до заданої температури, дозування, змішування компонентів та транспортування суміші до місця вкладання. На цьому етапі основна задача технології полягає в руйнування первинних конденсаційних контактів між частинками, рівномірному розподілі усіх компонентів в суміші, обволіканні мінеральних зерен бітумними плівками заданої товщини та формуванні коагуляційних контактів на всіх мінеральних зернах.

На етапі транспортування асфальтобетонна суміш зазнає деяких фізико-хімічних змін, пов'язаних перш за все зі зниженням температури. При цьому відбувається збільшення товщини орієнтованого шару бітуму на мінеральних частинках, що призводить до зміни в'язкості зовнішнього шару бітумної плівки.

Дана теорія відноситься в загальному для гарячих асфальтобетонів, нові технології теплих асфальтобетонів без сумніву засновані на цих же процесах. Проте через те, що в деяких нових теплих технологіях введені зміни до порядку введення компонентів в суміш та змінений вміст вологи в мінеральних матеріалах, що змішуються з в'язучим, необхідно врахувати ці фактори при виконанні подальших технологічних процесів, пов'язаних з укладанням та ущільненням суміші.

Другий період охоплює укладання та ущільнення асфальтобетонної суміші, відбувається подальше формування мікроструктурних зв'язків і внаслідок прикладання ущільнюючого навантаження – зближення зерен до максимальної щільності. При укладанні асфальтобетонної суміші в ній під дією власної маси відбуваються структурні деформації, що полягають у взаємному переміщенні зерен. Переохолодження асфальтобетонної суміші на даному етапі є головною причиною неможливості її укладання.

Процес ущільнення є завершальною стадією активного структуроутворення асфальтобетону, від ефективності якого залежать його експлуатаційні якості.

Для традиційного гарячого асфальтобетону на бітумі БНД 70/100 різке погіршення ущільнюваності спостерігається при температурі 80 °С, для сумішей на бітумі БНД 150/220 – при температурі 60 °С. Одна з переваг сучасних теплих асфальтобетонів полягає саме у зниженні даних температурних рамок. Хоча не можна сказати, що абсолютно всі теплі технології передбачають зниження температури ущільнення, – перш за все вони передбачають зниження температури приготування. А в якості додаткової переваги, певна їх частина дозволяє знизити і температуру ущільнення шляхом підвищення зручноукладальності суміші при понижених температурах. У порівнянні із гарячими сумішами, ущільнення яких рекомендовано починати при температурі не нижче 130 °С, теплі суміші, в залежності від виду технології, можна починати ущільнювати при температурах 115-110 °С. А для гарячих сумішей з підвищеним вмістом щебеню (50-65%) застосування теплих технологій крім зниження

температури ущільнення приблизно на 10 °C дає можливість досягти потрібного коефіцієнту ущільнення за меншу кількість проходів котків [8].

Третій період характеризується подальшим формуванням структури асфальтобетону внаслідок збільшення в'язкості бітуму за рахунок внутрішніх необоротних процесів та зміцнення зв'язків на межі розділу мінеральний матеріал-органічне в'язуче, в наслідок подальшої стабілізації орієнтованого шару бітуму або появи новоутворень в зоні контакту. В асфальтобетоні на вапняковому мінеральному матеріалі в'язкість в'язучого змінюється в незначній мірі за рахунок окислення самого в'язучого. Мінеральний матеріал із кислих порід не викликає активної сорбції в'язучого, яке, знаходячись у вільному стані, буде інтенсивно змінюватися під впливом атмосферних факторів.

Під впливом руху транспортних засобів а асфальтобетону проходять процеси подальшого зміцнення структури. Проте це відбувається лише в тому випадку, якщо правильно обраний склад суміші та витримані всі режими технологічних процесів.

Процес підвищення міцності асфальтобетону на першому етапі третього періоду структуроутворення визначається швидкістю зміни в'язкого бітуму при охолодженні, а характер цього процесу однакових для усіх видів асфальтобетону. Після охолодження асфальтобетону формування його структури характеризується більш монотонним наростанням міцності, що пов'язане із впливом двох факторів: підвищення в'язкості бітуму за рахунок випаровування легких вуглеводнів, полімеризації та окислення; зміцнення зв'язків на межі розподілу мінеральний матеріал-органічне в'язуче в наслідок повної стабілізації орієнтованих молекул бітуму.

Нові теплі асфальтобетони в процесі третього періоду структуроутворення мають декілька особливостей, причому для різних технологій виробництва вони різні. Так, наприклад, для технологій, що засновані на введенні органічних речовин, тобто восків різного походження, на цьому етапі характерне утворення в суміші додаткової структурної решітки, яка підвищує жорсткість бітуму і відповідно стійкість матеріалу до пластичних деформацій. Для технологій, що

засновані на спінюванні в'язучого, на даному етапі характерне випаровування із матеріалу залишків вологи, яка необхідна була для спінювання бітуму [27].

Також слід пам'ятати, що зменшена в'язкість бітуму при приготуванні суміші та її ущільненні може призвести до зниження жорсткості суміші протягом незначного проміжку часу після приготування. Цей факт є дуже важливим у тому відношенні, що для попередження утворення колії необхідно визначити, через який час після закінчення ущільнення шару можна відкривати рух по ньому.

По шарам покриття, збудованих із асфальтобетону, приготованого за технологіями Aspha-Min, Evotherm та Sasobit, рух можна відкривати одразу після закінчення ущільнення, тобто основні структуроутворюючі процеси до цього часу вже пройшли [27].

Витримка зразків теплого асфальтобетону, приготованих у лабораторних умовах, має дуже велике значення для отримання результатів, що відповідають дійсності. В лабораторних умовах необхідно імітувати процеси, що проходять в суміші під час її знаходження в бункері накопичувачі, під час транспортування та укладання.

Перед проведенням випробувань асфальтобетонів, що приготовані за технологіями спінювання, необхідно втримати ці зразки для того, що присутня в матеріалі волога могла випаруватися. За час витримки пройдуть процеси, що зазвичай мають місце при транспортування суміші.

Нормативними документами нашої країни час витримки зразків із гарячих асфальтобетонів на в'язких бітумах встановлений на рівні 1,5-2 доби, а для сумішей приготованих із емульгованого в'язучого – 14 діб [79]. В європейських нормативах жодних вимог стосовно витримки зразків із гарячих сумішей не існує, проте більшість експертів рекомендують як мінімум 2-х годинну витримку теплих асфальтобетонних сумішей перед ущільненням при температурі ущільнення.

Проте в Європі існують також і інші теорії стосовно тривалості витримки зрізків теплого асфальтобетону. Особливо цікава теорія, яка виділяє два етапи структуроутворення, а отже і два періоди витримки матеріалу:

1-й період. Суміш у не ущільненому стані витримується в спеціальній камері протягом 4 годин при температурі 135 °С, що приблизно дорівнює температурі ущільнення. За цей час проходять процеси, які зазвичай мають місце при короткотривалому зберіганні суміші в бункері накопичувачі асфальтобетонного заводу, та при транспортуванні суміші до місця проведення будівельних робіт.

2-й період. Ущільнені зразки асфальтобетону зберігають при температурі 85 °С прикладаючи статичне навантаження величиною 56 кН. За цей час в зразках проходять структурні зміни, що відбуваються в шарах покриття за першу добу його експлуатації. Цьому періоду обов'язково має передувати короткотривала витримка при температурі 135 °С.

Результати дослідження [101], приведені підтверджують той факт, що для гарячого асфальтобетону витримка зразків перед випробуванням не є важливою, діаметрально-протилежний висновок слід зробити для теплового асфальтобетону.

Проте, рекомендації щодо необхідності та тривалості витримки зразків із теплих асфальтобетонів, приготованих за різними технологіями, все ж таки відрізняються. Так, наприклад, згідно [27] для зразків приготованих у відповідності із технологіями Sasobit та Asphaltan B витримка не потрібна, і це підтверджено лабораторними випробуваннями. В той же час більшість дослідників погоджуються з тим, що для технологій Evotherm, WAM-Foam та Aspha-Min витримка зразків необхідна перш за все для витіснення наявної в них вологи.

Результати випробувань [27] зразків теплового асфальтобетону на міцність на розтяг показали, що хоча для різних тривалостей витримки міцність зразків змінюється, вагової різниці між показниками міцності теплового та гарячого асфальтобетону з однаковим часом витримки не існує. Також неможливо визначити залежність зміни міцності від тривалості витримки.

На сьогодні більшість дослідників сходяться в думці, що 2 години витримки зразків цілком достатньо. Витримка зразків особливо важлива для

асфальтобетонів, що приготовані з використанням процесів спінювання шляхом введення синтетичного цеоліту.

3.3 Дослідження стійкості теплих асфальтобетонних сумішей до утворення колії

Деформаційна поведінка асфальтобетону в інтервалі температур, при яких працюють дорожні одяги, досліджено в недостатньо повній мірі.

Зазвичай про деформаційну стійкість судять по показнику механічної міцності при високих температурах. Відомі лише поодинокі роботи, що присвячені дослідженню закономірностей накопичення деформацій під дією багатократних прикладань навантажень.

Як показали дослідження, швидкість накопичення деформацій асфальтобетону при циклічних навантаженнях збільшується і залишається постійною до певного критичного числа прикладань навантажень. Після цього швидкість накопичення деформацій різко збільшується.

Імовірно це пов'язано із поступовим руйнуванням структури, що різко виявляється після критичного числа прикладань навантаження.

На характер накопичення залишкових деформацій асфальтобетону впливають такі фактори: властивості бітуму та мінеральних матеріалів і особливості їх взаємодії, гранулометричний склад мінеральної частини суміші, пластичність асфальтобетону, якість ущільнення шару.

Дослідження стійкості теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму до утворення колії передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та випробування таких сумішей.

Методика випробувань на колієстійкість згідно ДСТУ EN 12697-22:2018 [96] передбачає наступне:

Виготовлення зразків-плит:

Зразки-плити з товщиною не менше 5 см виготовляють на секторному пресі, що відтворює умови ущільнення асфальтобетонної суміші металевим котком. Форма та розміри форм для виготовлення зразків-плит залежать від конструктивних особливостей секторного преса.

Для виготовлення зразків-плит використовують асфальтобетонну суміш, що виготовляється в лабораторних умовах.



Рисунок 3.11 – Лабораторний змішувач для перемішування асфальтобетонної суміші

Форму для виготовлення зразків-плит нагрівають у сушильній шафі. У нагріту форму засипають необхідну кількість суміші, маса якої залежить від об'єму форми. Температуру суміші, що укладається у форму, визначають в залежності від марки в'язучого, використаного для її виготовлення. Суміш рівномірно розподіляють у формі штикуванням нагрітим ножом або іншим пристроєм, знімаючи її надлишок, що може виступати з форми.

Форму із засипаною і розрівняною по площі сумішшю встановлюють на візок у робочу камеру секторного преса. На поверхню суміші встановлюють укочувальний сектор, на який прикладають навантаження (від 28 кН/см до 84 кН/см), що близьке до навантаження, яке діє на асфальтобетонну суміш при виробничому ущільненні.

Укочування здійснюють у дві стадії. На першій укочення виконують 20 проходками сектора з лінійним тиском, що дорівнює 28 кН/см. Після цього додаванням навантаження лінійний тиск збільшують до 84 кН/см і виконують ще 30 проходів секторним котком. Кількість проходів та лінійний тиск за необхідністю можна змінювати з метою імітації оптимального режиму ущільнення, що не призводить до подрібнення мінеральних складових, при використанні нових складів сумішей та в'язучих або з метою моделювання

виробничого ущільнення котками. Після закінчення ущільнення форму охолоджують на повітрі до температури не вище ніж $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, розбирають, виймають зразок-плиту з форми, укладають на металеву плиту та зберігають її до розпилювання на зразки необхідної форми та розмірів.



Рисунок 3.12 – Загальний вигляд виготовлених зразків

Проведення випробування колієстійкості

Зразки-плити, які виготовлені на секторному пресі, термостатуються протягом 5-ти годин при температурі $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Підготовані до випробування зразки-плити піддаються дії циклічного навантаження, яке передається на зразок за допомогою колеса із відповідних розмірів. Кількість циклів зворотнопоступальних рухів колеса складає 10000 циклів (або 20000 навантажень кожної точки по траєкторії випробувального колеса). При випробуванні навантаження на зразок через колесо становить $(700 \pm 10)\text{ N}$. При цьому, частота циклів складає $26,5 \pm 1$ на 60 секунду. Згідно з вимогами ДСТУ EN 13108-1:2018 [97] стійкість до накопичення залишкових деформацій асфальтобетону характеризують за:

- кутом нахилу кривої колієутворення (WTS_{AIR}), для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб;
- пропорційною глибиною колії після 10000 циклів (PRD_{AIR}) для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб;
- Глибиною колії після 10000 циклів (RD_{AIR}) для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб.

Глибина колії вимірюється через 500; 1000; 4000; 5000; 10000; 15000; 20000 навантажень у відповідних точках. Розташування точок вимірювання глибини колії виконується за схемою, наведеною на рисунку 3.9.

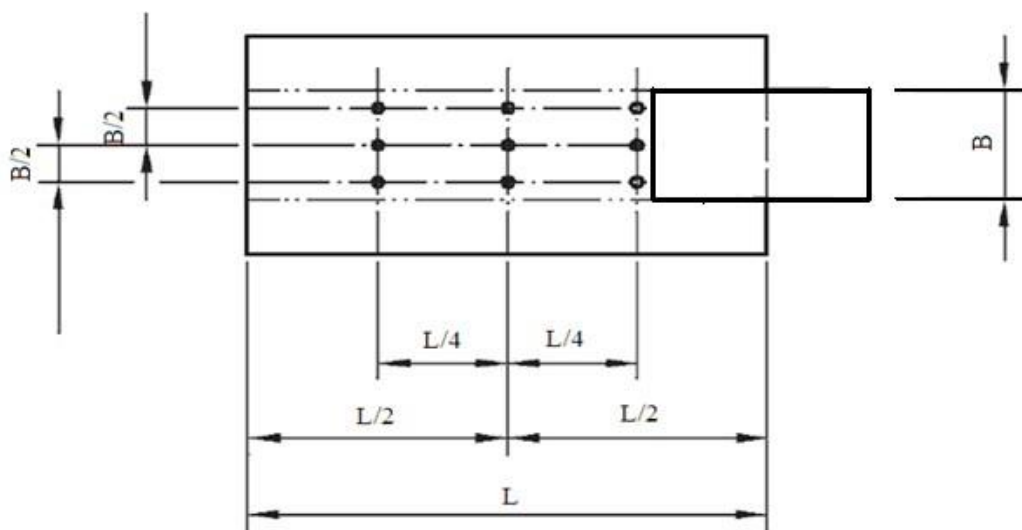


Рисунок 3.14 – Схема розташування точок вимірювання глибини колії

На рисунку 3.15 наведено процес випробувань на колієстійкість виготовлених асфальтобетонних зразків



Рисунок 3.15 – Процес проведення випробування на стійкість асфальтобетону до утворення колії

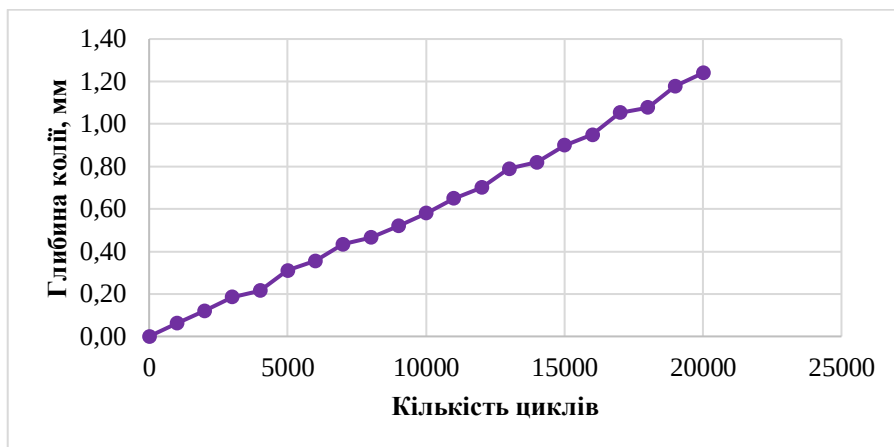


Рисунок 3.16 – Графік утворення колії під час випробування асфальтобетонних зразків на бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 %

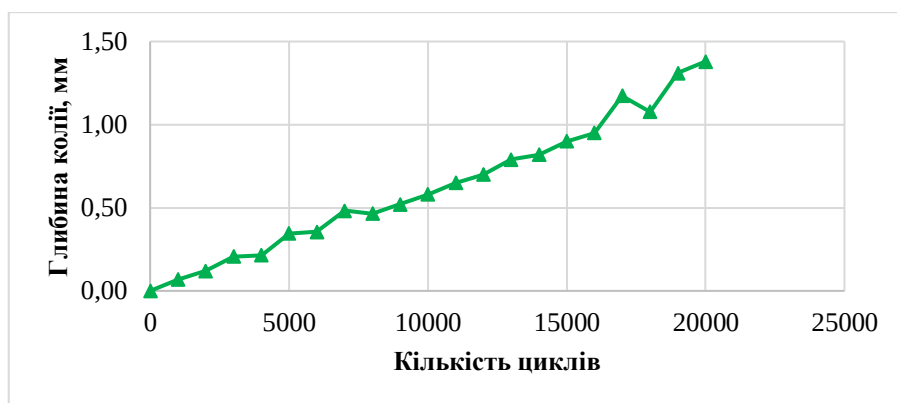


Рисунок 3.17 – Графік утворення колії під час випробування асфальтобетонних зразків на бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%

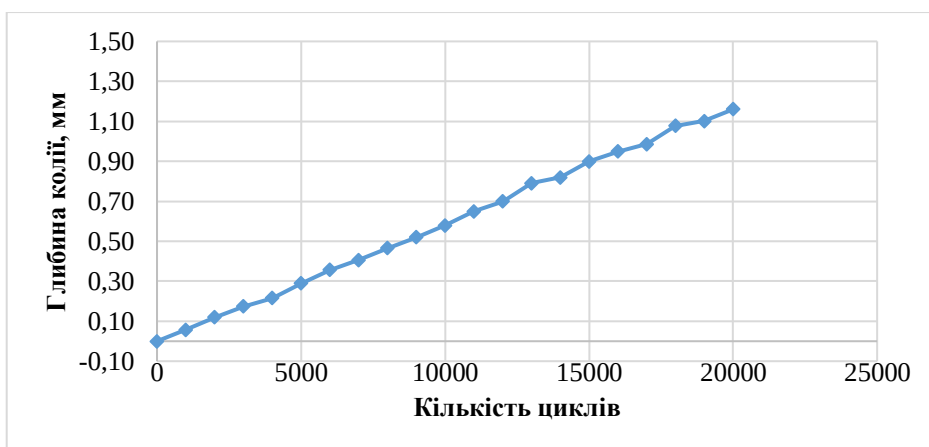


Рисунок 3.18 – Графік утворення колії під час випробування асфальтобетонних зразків на спіненому бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5% з додаванням (АК)

Проведені дослідження використання технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі бітумів з додованням енергозберігаючих добавок та спінених бітумів отримані наступні результати скійкості до утворення колії:

Асфальтобетон, виготовлений із гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 % за результатами проходження 20000 циклів глибина колії склала 1,24 мм;

Асфальтобетон, виготовлений із гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5% за результатами проходження 20000 циклів глибина колії склала 1,38 мм;

Асфальтобетон, виготовлений із гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (+АК) на спіненому бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5% за результатами проходження 20000 циклів глибина колії склала 1,16 мм.

Висновки до розділу 3

1. Для встановлення раціональних температур змішування, вмісту добавки та кількості асфальтобетонної крихти застосовано метод експериментально-статистичного моделювання, розроблені математичні моделі, що описують залежність водонасичення та міцності при стиску від температури змішування вмісту добавки та кількості асфальтобетонної крихти;

2 Проведені експериментальні дослідження впливу температури змішування, вмісту добавки та кількості асфальтобетонної крихти на міцнісні показники асфальтобетону, які характеризують поведінку його роботи в найбільш критичних умовах – міцність на стиск при 0 °С та при 50 °С, а також показник водонасичення.

3. Визначено області раціональних значень прийнятих факторів варіювання що відповідають температурі змішування – (133 – 138) °С, вміст енергозберігаючої добавки – (0,12 – 0,17) %, кількість доданої асфальтобетонної крихти – (18 – 22) % від маси суміші.

4. З огляду на досить неоднорідний вплив витримки суміш на властивості теплих та гарячих асфальтобетонів, було досліджено доцільність такої витримки для теплої асфальтобетонної суміші та її вплив на властивості матеріалу. Витримка суміші протягом 2 годин дозволяє покращити властивості асфальтобетону і привести абсолютно усі показники його властивостей у відповідність з діючими нормативними документами. Таким чином, спираючись на результати власних та закордонних випробувань можна зробити висновок, що при лабораторних випробуваннях теплих асфальтобетонних сумішей витримку перед ущільненням необхідно ввести як обов'язкову операцію для отримання даних, що відповідають реальним умовам технологічного процесу влаштування асфальтобетонних шарів.

5. Досліджено стійкість теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму до утворення колії. За результатами випробувань встановлено, що виготовлені зразки відповідають категорії $RD_{AIRmax} = 1,5$ згідно таблиці 14 ДСТУ EN 13108-1:2018 [92].

Результати досліджень третього розділу викладено у наступних публікаціях [80 – 83, 98, 136].

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування теплих асфальтобетонних сумішей для улаштування шарів дорожнього одягу

Технології виробництва теплих асфальтобетонних сумішей дають змогу економити енергію для виробництва – це в основному залежить від того, наскільки була знижена температура виробництва і яке паливо було використано. Економічну вигоду від економії енергії слід розглядати разом з вартістю та типом енергії, оскільки вищі ціни на енергію обіцяють більшу економію. І знову ж таки, економія залежить від технології виробництва, оскільки деякі технології теплих асфальтобетонів вимагають лише початкових інвестицій для модифікації заводу, деякі вимагають постійних додаткових витрат на добавки, а деякі вимагають обох форм додаткових витрат [99].

Економічні вигоди слід оцінювати разом з екологічними вигодами. Якщо впроваджуються суворіші стандарти викидів, то економічний потенціал для теплих асфальтобетонів може бути вищим. У цьому випадку потенційні вигоди можуть не повністю піддаватися економічній оцінці і повинні оцінюватися разом з екологічними нормами [99].

З урахуванням оцінки впливу технології теплих асфальтобетонів протягом життєвого циклу, авторами було встановлено, що технології теплих асфальтобетонів забезпечують зниження впливу на забруднення повітря – 24 % у порівнянні із гарячим асфальтобетоном і на 18% зменшення споживання викопного палива. Загалом, за різними оцінками, використання технологій теплих асфальтобетонів забезпечує зниження впливу на навколишнє середовище на 15% [100 – 104].

Існують певні застереження щодо впровадження технології виробництва теплих асфальтобетонних сумішей через її вартість. Необхідно довести ефективність теплих порівняно з гарячими асфальтобетонами, щоб

використання цієї технології набуло широкого розповсюдження. Доцільно встановити на скільки відсотків скорочення споживання енергії зменшить загальні витрати на виробництво асфальтобетонних сумішей. Якщо не буде доведено зниження виробничих витрат, може статися так, що підрядники не оберуть цю технологію лише через її інші переваги, і якщо не буде запроваджено жорсткіших норм щодо викидів, технологія теплих асфальтобетонів не зможе набути широкого розповсюдження. Це може призвести до збільшення витрат на:

- інвестиції та модифікації заводу;
- витрати на добавки;
- можливі витрати на ліцензування технології.

Виготовлення асфальтобетонної суміші передбачає наступні технологічні операції: переміщення матеріалів бульдозером; завантаження матеріалів в установку; розігрів бітуму в бітумосховищі; випарювання води з бітуму; підігрівання зневодненого бітуму до робочої температури; перекачування бітуму; очищення бітумних котлів; приготування суміші: обслуговування газодувної установки та контролювання температури просушування матеріалів; контролювання роботи конвеєрів і дозаторів; видача готової суміші в транспортні засоби [105 – 111].

При виконанні досліджень були розраховані вартості виготовлення асфальтобетонних сумішей гарячих та так званих теплих асфальтобетонних сумішей з додаванням енергозберігаючих добавок та асфальтобетонної крихти.

Вартість прямих витрат визначалась на підставі ресурсних кошторисних норм ДСТУ Б Д.2.2-27:2016 [112], ДСТУ Б Д.2.7-1:2012 [113], СОУ 42.1-37641918-034:2018 [114], СОУ 42.1-37641918-035:2018 [115]. На роботи з приготування теплих асфальтобетонних сумішей з додаванням асфальтобетонної крихти відсутні ресурсні елементні кошторисні норми. Ураховуючи зазначене, на відповідні роботи були розроблені індивідуальні кошторисні норми з урахуванням вимог ДСТУ-Н Б Д.1.1-6:2013 [116].

Для нормування потреби трудових та технічних ресурсів при розробленні індивідуальних кошторисних норм використаний розрахунково-дослідний

метод [116]. Він базується на використанні даних, одержаних в результаті проведення спеціальних нормативних досліджень (вимірів, фотохронометражу).

Визначення величини норм витрат труда ($H_{втр}$) робітників-будівельників розраховано за формулою [116]:

$$H_{втр} = \frac{П_{вт}}{(100 - (П_{нзр} + П_{в} + П_{мо})) \cdot 60} \quad (4.1)$$

де $П_{вт}$ - сума проектованих витрат на вимірник процесу, люд.хв;

$П_{нзр}$ - проектовані витрати на підготовчо-заключну роботу, %;

$П_{в}$ - проектовані витрати на відпочинок і особисті потреби, %;

$П_{мо}$ - проектовані витрати на технічне обслуговування машин та механізмів.

Час використання машин і механізмів ($H_{чвм}$, маш.год) і витрати труда ланок, що обслуговують машини й механізми ($H_{втм}$, люд.год), визначені на підставі поточного нормативного часу роботи робітників-будівельників і кількісного складу виконавців:

$$H_{чвм} = H_{втр} : N_p \quad (4.2)$$

$$H_{втм} = H_{чвм} \cdot N_o \quad (4.3)$$

де N_p - кількісний склад ланки робітників-будівельників, чол.;

N_o - кількісний склад ланки, що обслуговує машини й механізми, чол.

При виконанні досліджень були розраховані вартості приготування асфальтобетонних сумішей об'ємом 100 т на асфальтобетонному заводі продуктивністю 130 тон за годину таких асфальтобетонних сумішей:

Гаряча асфальтобетонна суміш – температура вихідного бітуму при перемішуванні становила (140-155) °С, мінерального матеріалу (170-180)°С.

дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 %;

Теплі асфальтобетонні суміші – температура бітуму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей (130-145) °С, температура нагрівання мінерального матеріалу (140-160)°С.

– дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%;

– дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (+АК у кількості 15 %) на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%;

– дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (+АК у кількості 20 %) на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%;

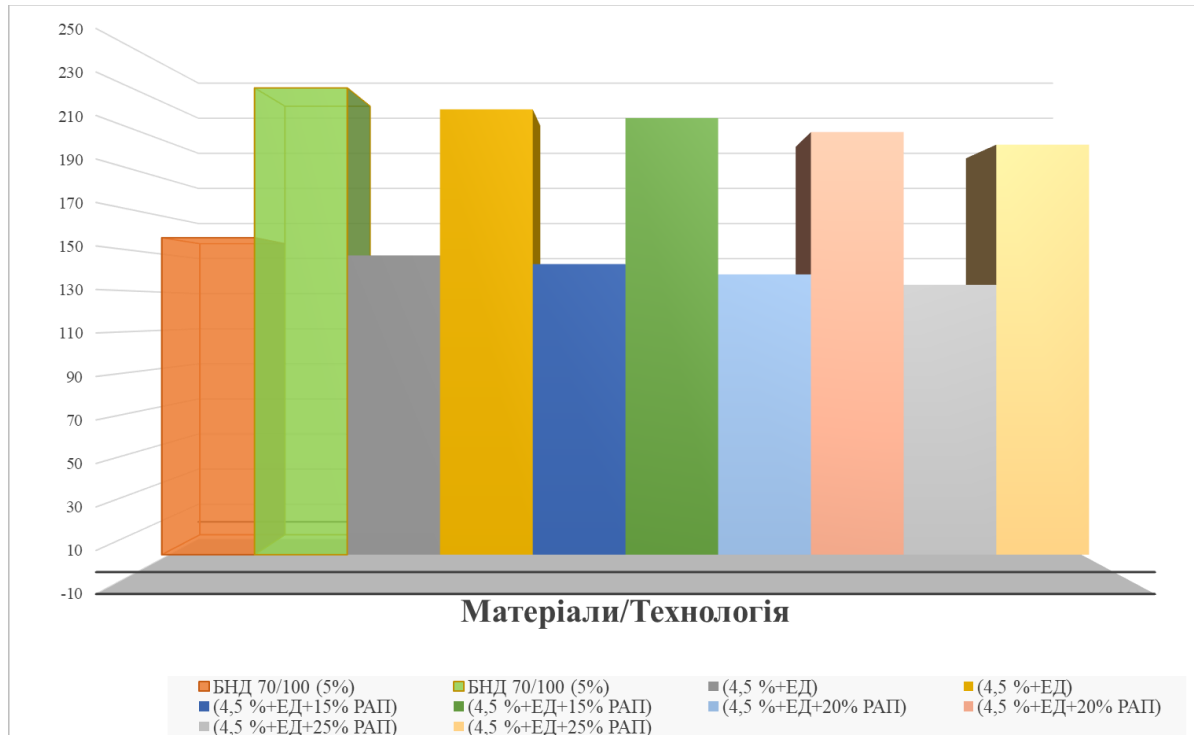
– дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (+АК у кількості 25 %) на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%.

Загальні витрати на приготування асфальтобетонних сумішей об'ємом 100 т з різними фізико-механічними характеристиками наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати на приготування 100 т асфальтобетонної суміші

Ч.ч.	Асфальтобетонна суміш	Витрати, тис. грн	
		Вартість матеріалів	Загальна вартість
1	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (5%)	156,247	243,387
2	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (4,5 %+ЕД)	147,486	230,715
3	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (4,5 %+ЕД+15% АК)	143,242	208,060
4	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (4,5 %+ЕД+20% АК)	138,151	198,924
5	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (4,5 %+ЕД+25% АК)	133,009	194,558

На основі даних таблиці 1 побудоване графічне зображення витрат на приготування 100 т асфальтобетонної суміші, в залежності від типу асфальтобетону (рис. 4.1).



**Рисунок 4.1 – Вартість приготування 100 т суміші
АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100**

Результати досліджень показують, що приготування теплих асфальтобетонних сумішей є економічно вигіднішими, оскільки за рахунок зменшення кількості бітумного в'язучого та складових, замінивши їх на асфальтобетонну крихту, можна досягти економії у вартості матеріалів на 14,8 %, а вартості технології приготування на 20 %.

Вартість приготування за будь-якою технологією є надто залежною від вартості будівельних матеріалів та частки використання місцевих матеріалів.

Укладання теплих асфальтобетонів призводить до зменшення забруднення атмосфери. Нижчі температури змішування та модифікація бітуму призводять до іншої в'язко-пружної поведінки в'язучого в шарах дорожнього одягу, виготовленому за технологією теплих асфальтобетонів. Менше старіння під час

виробництва та укладання, як правило, покращує гнучкість покриття, що зменшує втомлюваність та температурне розтріскування. Вважається, що це призводить до покращення довговічності (життєвого циклу) дорожнього одягу, що ще більше зменшує потенційні витрати на відновлення асфальтобетонного покриття. Зниження в'язкості бітуму в процесі виробництва дозволяє використовувати більший відсоток асфальтобетонної крихти [106].

Оскільки технології теплих асфальтобетонів застосовуються лише протягом 20 років, все ще існують застереження щодо довгострокових характеристик асфальтобетонних шарів дорожнього одягу, улаштованих із таких матеріалів. Якщо буде доведено, що теплі асфальтобетони мають таку ж або кращу довговічність, ніж гарячі, то економічні витрати протягом життєвого циклу теплих асфальтобетонів можуть значно збільшити переваги цієї технології.

4.2 Технологічний регламент на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму, на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant»

4.2.1 Загальна характеристика виробництва

4.2.1.1 Технологічний регламент (далі – ТР) є основним технологічним документом, який визначає оптимальний технологічний режим, порядок виконання операцій технологічного процесу, забезпечує випуск продукції відповідної якості, охорону праці, а також здійснення вимог з охорони навколишнього середовища.

4.2.1.2 ТР розроблений на виробництво асфальтобетонних сумішей (далі – АБС), асфальтобетонних сумішей на основі бітумів, модифікованих полімерами (далі – АБС_{БМП}), асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму (далі – АБС_{СБ}) та щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей (далі – ЩМАС) відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119:2019 [78], ДСТУ EN 12697-35:2019 [117], ДСТУ 8959:2019 [118] та ДСТУ Б В.2.7-127:2015

[119] на асфальтобетонному заводі безперервного типу «ASTEC Portable 6' Double Barrel» (далі – АБЗ).

4.2.1.3 ТР визначає раціональний склад виконавців, потребу в матеріалах і механізмах, може бути використаний для навчання робітників та інженерно-технічного персоналу (далі – ІТП) технології виготовлення продукції, що випускається на АБЗ, операційному контролю якості та безпечним методам роботи.

4.2.1.4 Дотримання вимог цього ТР є обов'язковим і забезпечує безпечні умови роботи, збереження обладнання, раціональне і економічне ведення процесу і задану якість продукції, що випускається відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119:2019 [78], ДСТУ 8959:2019 [118] та ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [119].

4.2.1.5 Основні технічні параметри і характеристики АБЗ зазначено у таблиці 1.1. Світлина АБЗ наведена на рисунку 1.

Таблиця 4.2 – Основні параметри і технічні характеристики

Ч.ч.	Назва	Параметри
1	2	3
1	Тип	мобільний
2	Технологія виробництва	безперервна
3	Продуктивність номінальна за вологості вихідних матеріалів (піску і щебеню) до 5 %, т/год.	200
4	Напруга за трифазного змінного струму,	380
5	Частота струму, Гц	50
6	Споживана потужність, кВт, не більше	215
7	Місткість бункерів агрегату живлення, шт. × м ³	5 × 13,6 = 68
8	Місткість бункера для асфальтобетонної крихти, м ³	14
9	Місткість бункера целюлози, м ³	6
10	Висота завантаження у бункер, м	2,4
11	Тип живильників	об'ємний, стрічковий, регульований
12	Ширина стрічки конвеєрів, мм	600
13	Сушильно-змішувальний агрегат, діаметр × довжина, мм	1800 × 10000
14	Максимальна температура нагріву бітуму, °С	160
15	Спосіб нагріву бітуму	вогневий
16	Привід сушильно-змішувального агрегата	регульований, з плавним пуском та зупинкою
17	Вид пального	дизельне паливо/газ
18	Кількість фракцій дозуючого кам'яного матеріалу, шт.	6
19	Похибка зважування, %	± 0,5
20	Тип мішалки	безперервної дії

Кінець таблиці 4.2

1	2	3
21	Тип дозаторів: кам'яних матеріалів, бітуму, мінерального порошку, асфальтобетонної крихти, целюлози	вагові на тензодатчиках
22	Спосіб завантаження готової суміші в автотранспорт	гравітаційні з агрегатів готової суміші
23	Загальна місткість бункерів агрегату мінерального порошку, м ³	86
24	Загальна місткість цистерн для бітуму, м ³	144
25	Тип пиловловлюючого пристрою	комбінований: сухий (циклони), сухий (рукавний фільтр)
26	Спосіб утилізації пилу	використання в техпроцесі
27	Система управління	Автоматична та дистанційна на базі програмованого логістичного контролера
28	Система спінення бітуму	безперервної дії «ASTEC Green Pac»
29	Система модифікації бітуму	Marini
30	Система дозування добавок	безперервної дії «ASTEC Green Pac»
31	Привід виконавчих механізмів	електропневматичний
32	Питома витрата палива (не більше), л/т	12
33	Конструктивна маса, т	300
34	Габаритні розміри, м	160 × 250



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel» (ТОВ «АБЗ1», м. Київ, вул. 9-го Травня, 49)

4.2.2 Характеристика вихідних матеріалів

4.2.2.1 Характеристика вихідних матеріалів для АБС, АБС_{СБ} та АБС_{БМП} визначаються відповідно до ДСТУ 8959:2019 [118], ДСТУ Б В.2.7-119:2019 [78], для ЩМАС відповідно до ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [119].

4.2.2.2 З метою поліпшення фізико-механічних показників асфальтобетону, а саме: деформативності, зсувостійкості, тріщиностійкості, довговічності, стійкості проти старіння, для шарів покритву автомобільних доріг I та II категорій потрібно використовувати модифіковані бітуми відповідно до ДСТУ 9116:2021 [120], ДСТУ 9133:2021 [121], ДСТУ EN 14023:2023 [122].

4.2.2.3 АБС, АБС_{СБ} та АБ_{БМП} (їх характеристики в залежності від класу, виду, групи, типу, різновиду гранулометрії, марки) повинні відповідати ДСТУ 8959:2019 [118], ДСТУ Б В.2.7-119:2019 [78], для ЩМАС відповідно до ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [119].

4.2.3 Опис технологічного процесу

4.2.3.1 Технологічні операції з вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} та ЩМАС:

- комплекс операцій з виготовлення сумішей включаючи попереднє дозування мінеральних матеріалів; нагрів і висушування мінеральних матеріалів сортування (грохочення) і короткочасне зберігання нагрітих кам'яних матеріалів; точне дозування мінеральних матеріалів, бітуму та добавок; змішування складових у змішувачі та вивантаження з нього готової (товарної) суміші;
- технологічні операції з приймання, зберігання і подавання в бункери кам'яних матеріалів (по фракціях), отримання на АБЗ необхідних за крупністю фракцій щебеню шляхом дроблення та сортування більш великих фракцій щебеню (за потреби);
- технологічні операції з приймання, зберігання, підігрівання та подавання в дозатори бітуму;
- технологічні операції з приймання, зберігання та підігрівання в дозатор мінерального порошку (заповнювача);
- технологічні операції з приймання, зберігання та подавання в дозатор стабілізуювальних добавок (для ЩМАС);
- технологічні операції з приймання, зберігання, підігрівання і подавання в дозатор поверхнево-активних речовин (далі – ПАР) за потреби;

- під час вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБ_{БМП} або ЩМАС на модифікованих бітумах – технологічні операції з вироблення модифікованих бітумів, включаючи приймання, зберігання, нагрів, подачу та дозування вихідних компонентів та готової продукції, змішування складових у механічних змішувачах та подача в дозатор готового (модифікованого) бітуму або подача модифікаторів безпосередньо у суміш;
- технологічні операції зі складування, короткочасного зберігання та відвантаження готової суміші.

4.2.3.2 Мобільний АБЗ безперервної дії споруджено розбірним з розрахунку його експлуатації в будь-кому призначеному для цього місці. Вихідні матеріали (щебінь, відсів, асфальтобетонна крихта, бітум, мінеральний порошок, стабілізувальні та модифікуючі добавки, ПАР, паливо тощо) доставляються на виробництво автотранспортом або за допомогою призначеної для цього залізничної колії, безпосередньо до заводу.

4.2.3.3 Технологія вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП}, ЩМАС включає:

- зберігання невеликого запасу мінеральних матеріалів (відсіву і щебеню), та попереднє їх дозування в агрегаті живлення і подача їх до сушильно-змішувального агрегату;
- просушування і нагрів кам'яних матеріалів до робочої температури в сушильній частині сушильно-змішувального агрегату;
- «сухе» (без в'язучого) перемішування мінеральних матеріалів у сушильній частині сушильно-змішувального агрегату;
- попереднє очищення газів, що відходять у Скруббер Вентурі, і їх подальше очищення в рукавному фільтрі;
- приймання, зберігання, спінення (під час вироблення АБС на спіненому бітумі), нагрівання до робочої температури бітуму, дозування і подача його в змішувальну частину змішувальної установки;
- вироблення модифікованих бітумів (у випадку вироблення АБС на їхній основі), включаючи приймання, зберігання, нагрів, подачу та дозування вихідних компонентів та готової продукції; змішування складових у змішувачі та подача в дозатор готового (модифікованого) бітуму;

- приймання мінерального порошку, нагрів його в теплообміннику, тимчасове зберігання, дозування і подача в змішувальну частину змішувальної установки; подавання уловленого пилу в силос накопичувач шнековим конвеєром;
- приймання стабілізуючих добавок (целюлози), тимчасове зберігання, дозування та подача в змішувальну частину сушильно-змішувального агрегату (для вироблення ЩМАС);
- попереднє дозування асфальтобетонної крихти в агрегат живлення і подача її у змішувальну частину сушильно-змішувального агрегату (за потреби);
- приймання, зберігання, підігрів і подача в дозатор поверхнево-активних речовин (ПАР) (за потреби);
- «мокре» (з в'язким) перемішування компонентів у змішувальній частині сушильно-змішувального агрегату, транспортування суміші за допомогою скребкового конвеєра в бункер-накопичувач асфальтобетонної суміші, короткочасне зберігання і відвантаження готової суміші в автосамоскиди.

4.2.3.4 Технологічні параметри вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС: точність дозування всіх складових (відхилення під час зважування від їх маси для щебеню та піску $\pm 3 \%$, для бітуму $\pm 1,5 \%$); режим просушування і температура нагрівання щебеню і піску (відхилення за температурою не більше ніж $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$); режим і температура нагрівання в'язкого (відхилення за температурою не більше ніж $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$); час перемішування (відхилення за часом не більше ніж 5 с); характер подавання готової суміші в накопичувальний бункер і вивантаження з нього (з недопущенням зернової сегрегації); забезпечення постійності фракційного складу і чистоти мінеральних матеріалів у штабелях АБЗ (забезпечується достатньою відстанню взаємного розміщення штабелів мінеральних матеріалів на майданчику, що перешкоджає змішуванню фракцій).

4.2.3.5 Ураховуючи, що АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС є комплексним багатокомпонентним матеріалом, який змінює властивості під час зміни складу, та що всі технологічні операції в значній мірі впливають на властивості покритву, важливими параметрами технологічних операцій є:

- точність попереднього дозування мінеральних матеріалів, оскільки зменшення чи збільшення дозування навіть одного компонента призводить у результаті до нестачі або надлишку цього компонента в «гарячих» бункерах. Забезпечення цього параметра вирішується шляхом підвищення точності дозування, із застосуванням автоматизованої системи управління (АСУ);

- температура мінеральних матеріалів на виході з сушильного барабана, оскільки низька чи висока температура мінеральних матеріалів зумовлює зниження якості суміші: за низької температури частина вологи залишається на зернах мінерального матеріалу і погіршує зчеплення бітуму з поверхнею зерен, а за високої температури зерен мінерального матеріалу відбувається окислення бітуму на поверхні цих зерен, що змінює його властивості. Забезпечення цього параметра вирішується із застосуванням автоматичного управління на базі АСУ введенням відповідних даних в блок контролю температури мінеральних матеріалів, блок регулювання потужності пальника сушильного барабана та сумарною продуктивністю агрегату живлення холодного відсіву та щебеню;

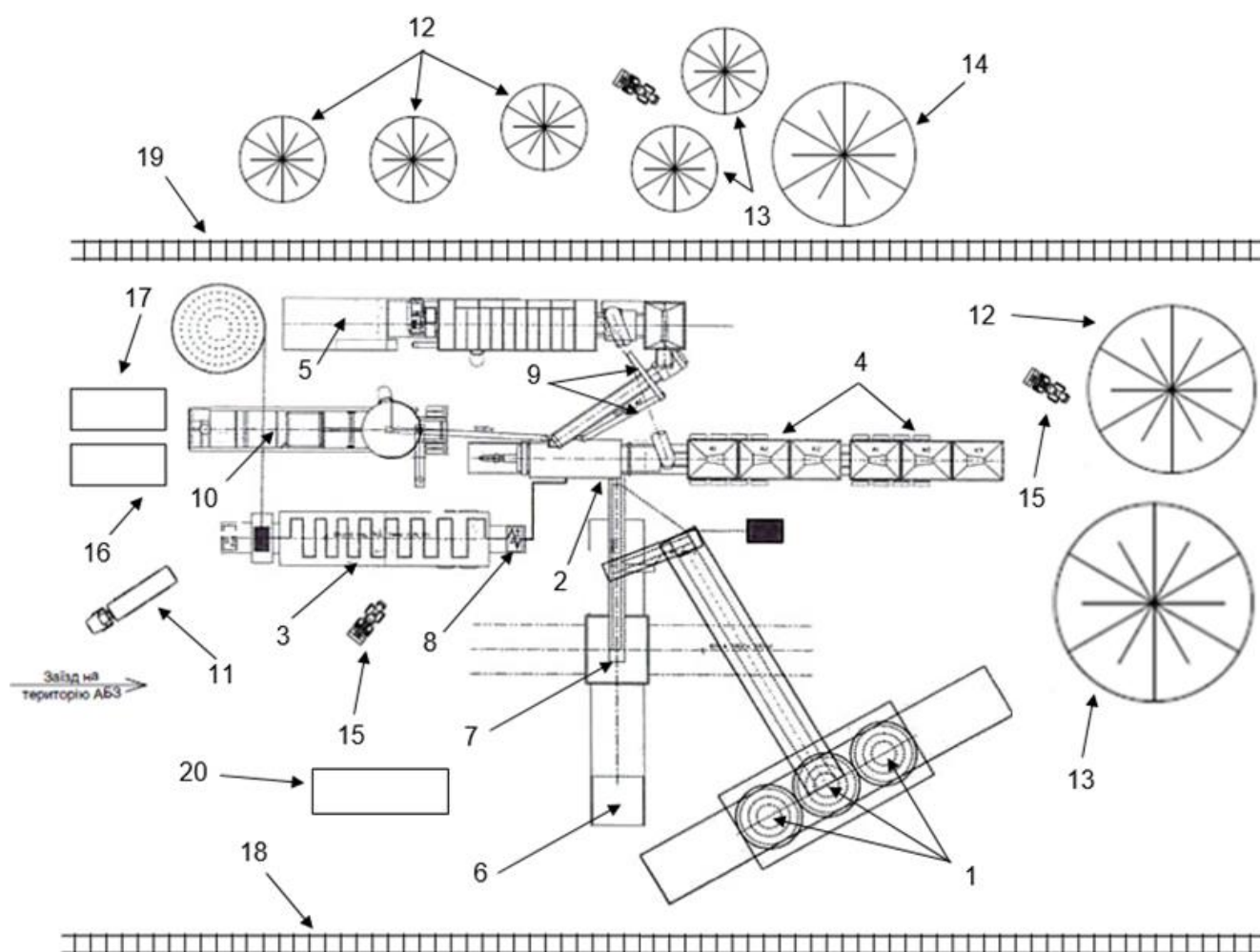
- температура та режим нагріву бітумного в'язучого, оскільки висока температура бітуму може привести до зміни його властивостей, а низька температура бітуму погіршує процес обволікання зерен мінерального матеріалу, різкий режим нагріву бітуму (висока температура теплоносія) також приводить до зміни його властивостей. Забезпечення цих параметрів вирішується введенням в блок автоматичного управління на базі АСУ відповідних даних щодо контролю температури бітуму і температури теплоносія, а також у блок регулювання потужності пальника нагрівача теплоносія (електронагрівача) бітуму;

- точність дозування мінеральних матеріалів, добавок і бітуму, оскільки відхилення від заданого складу суміші є головною причиною отримання неякісної суміші. Забезпечення цих параметрів вирішується шляхом використання вагових дозаторів мінеральних матеріалів, добавок і бітуму на тензодатчики;

- точність дотримання часу «сухого» і «мокрого» перемішування компонентів асфальтобетонної суміші в змішувачі. Забезпечення цього

параметра вирішується введенням даних щодо часу перемішування в блок автоматичного управління на базі АСУ.

4.2.3.6 Ситуаційний план стаціонарного АБЗ наведено на рисунку 4.3.



1 – силоси довготривалого зберігання; 2 – барабанний сушильно-змішувальний агрегат; 3 – ємність для зберігання та модифікації бітуму; 4 – приймальні бункери для мінеральних матеріалів (живильники); 5 – генератор; 6 – пульт керування; 7 – бункер-навантажувач готової суміші; 8 – система подавання фібри та сухих добавок; 9 – шнековий конвеєр; 10 – бітумна ємність; 11 – бітумовоз на місці зливу бітуму; 12 – склад мінерального матеріалу у відвалах різної фракції (відсів); 13 – склад мінерального матеріалу у відвалах різної фракції (5-10, 10-20); 14 – склад асфальтобетонної крихти; 15 – навантажувач; 16 – приміщення для охорони; 17 – складські приміщення; 18, 19 – залізнична колія для доставки матеріалів на АБЗ; 20 – адміністративна будівля.

Рисунок 4.3 – Схема генерального плану АБЗ безперервної дії «ASTEC Portable 6' Double Barrel» (ТОВ «АБЗ1», М. Київ, вул. 9-го Травня, 49)

4.2.3.7 Основні етапи вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС

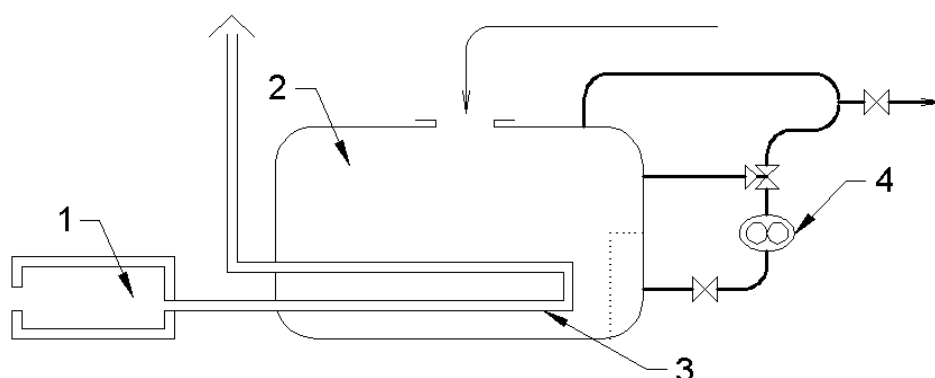
4.2.3.7.1 Доставка бітуму на АБЗ та зливання його у ємкості бітумних котлів

4.2.3.7.1.1 Під час розвантаження бітум потрібно підігрівати до температури 90 °С. Тривалість зливу бітуму весною і літом – не більше ніж 7 год, восени і взимку – не більше ніж 14 год.

4.2.3.7.1.2 В'язкі дорожні бітуми приймають партіями будь-якої кількості (відповідно до продуктивності бітумних ємностей) однорідної за показниками якості, які супроводжуються одним документом про якість.

4.2.3.7.2 Нагрівання та зневоднення бітуму на АБЗ

4.2.3.7.2.1 Для зневоднення та нагріву бітуму до робочих температур застосовується обладнання розігріву на дизельному або пічному паливі циклічної та безперервної дії. Бітумонагрівальне обладнання циклічної дії являє собою котел з жаровими трубами (рисунок 4.4).



Умовні позначки:

1 – топка; 2 – котел; 3 – жарові труби; 4 – бітумний насос.

Рисунок 4.4 – Схема бітумонагрівальної установки циклічної дії

4.2.3.7.2.2 Основні етапи вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС

Технологічні операції зі зневоднення бітуму:

- очищення бітумних котлів;
- наповнення котлів бітумом;
- приведення в дію системи підігрівання котлів;
- випарювання води;
- перекачування зневодненого бітуму у робочу місткість.

4.2.3.7.2.3 Основні етапи вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС

Котел завантажують не більше ніж на 0,7 об'єму. Прогрівання бітуму виконують до температури 150 °С. Витрати енергії на зневоднення 1 т бітуму наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Витрати енергії під час зневоднення

Вологість бітуму, % від маси	Кількість теплової енергії, мДж	Кількість електроенергії, кВт/год
1	22,6	6,3
3	67,8	18,9
5	113,0	31,4
7	157,4	43,7
10	276,1	62,8

4.2.3.7.2.4 У процесі підігрівання і зневоднення бітуму потрібно слідкувати за температурою підігрівання та рівнем бітуму в котлах. З метою запобігання пожежі рівень бітуму в котлі постійно повинен бути вище верхнього рівня жарових труб на 300 мм.

4.2.3.7.2.5 Технологічні операції з розігрівання бітуму до робочої температури:

- приведення в дію системи підігрівання котла;
- підігрівання зневодненого бітуму до робочої температури;
- введення ПАР (за потреби);
- перекачування бітуму в змішувач або у резервну місткість.

4.2.3.7.2.6 Під час підготовки бітуму потрібно контролювати його температуру і рівень наливу. Прогрів бітуму виконується до температури відповідно таблиці 3.2 під час вироблення АБС та таблиці 3.4 під час вироблення ЩМАС та таблиці 3.5 під час вироблення АБС_{БМП}. Під час виробленні АБС з використанням системи для спінення бітуму безперервної дії «ASTEC Green Рас» та для отримання її стабільних фізико-механічних показників рекомендується почати виробництво за технологією гарячих асфальтобетонних сумішей і надалі знижувати температуру розігріву мінеральних матеріалів до потрібної, що зазначена в таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 – Температура нагрівання складових під час вироблення АБС

Ч.ч.	Марка в'язучого	Температура, °С		
		в'язучого, що подається у змішувач	мінерального матеріалу на виході із сушильного барабана	асфальтобетонної суміші на виході із змішувача
1	БНД 35/50	від 160 до 180	від 180 до 190	від 165 до 180
2	БНД 50/70	від 150 до 170	від 175 до 185	від 155 до 170
3	БНД 70/100	від 145 до 165	від 170 до 180	від 150 до 165
4	БНД 100/150	від 135 до 155	від 165 до 175	від 140 до 155
Примітка. У разі використання добавок на основі поверхнево-активних речовин температуру суміші й температуру нагрівання заповнювачів та бітуму може бути знижено.				

Таблиця 4.4 – Температура нагрівання складових під час вироблення АБС_{СБ}

Ч.ч.	Марка в'язучого	Температура, °С		
		в'язучого, що подається у змішувач	мінерального матеріалу на виході із сушильного барабана	асфальтобетонної суміші на виході із змішувача
1	БНД 35/50	від 160 до 180	від 130 до 160	від 110 до 145
2	БНД 50/70	від 150 до 170	від 130 до 155	від 110 до 145
3	БНД 70/100	від 145 до 165	від 120 до 145	від 110 до 145
4	БНД 100/150	від 135 до 155	від 115 до 135	від 110 до 145

Таблиця 4.5 – Температура нагрівання складових під час вироблення ЦМАС

Ч.ч.	Марка бітуму	Температура, °С	
		під час відвантаження	під час влаштування покриття на початку ущільнення, не менше ніж
1	БНД 50/70	від 160 до 175	155
2	БНД 70/100	від 155 до 170	145
3	БНД 100/150	від 150 до 165	140
Примітка. Під час застосування модифікуючих добавок температуру вироблення та укладання ЦМАС призначають з урахуванням рекомендацій виробника добавки. Знижені технологічні температури вироблення та ущільнення ЦМАС встановлюють за результатами випробувань та перевіряють під час випуску першої пробної партії на виробництві. При цьому ЦМАС та ЦМА повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-127			

Таблиця 4.6 – Температура нагрівання складових під час вироблення АБС_{БМП}

Ч.ч.	Температура розм'якшеності в'язучого, °С, не менше ніж	Температура, °С		
		бітумного в'язучого, що подається у змішувач	АБС _{БМП} на виході зі змішувача	АБС _{БМП} на початку ущільнення
1	64	від 170 до 185	від 170 до 180	від 160 до 170
2	57	від 165 до 180	від 165 до 175	від 155 до 165
3	53	від 160 до 175	від 160 до 170	від 150 до 160
4	50	від 155 до 165	від 155 до 165	від 145 до 155
5	48	від 140 до 150	від 150 до 160	від 140 до 150

Примітка. У випадку використання катіонних ПАР температура суміші і температура нагрівання кам'яних матеріалів та в'язучого може бути зменшена на (10 – 15) °С.

4.2.3.7.3 Спінення бітуму

Під час спінення бітуму кількість води варіюється від 1 % до 4 % від маси бітуму в залежності від застосовуваної технології спінювання. Температура води повинна становити від 5 °С до 50 °С. Тривалість перемішування визначається дослідним шляхом і триває до тих пір, поки всі мінеральні зерна не будуть покриті в'язучим і в готовій суміші не залишиться її окремих згустків. На рисунку 4.5 схематично представлений процес за технологією спінювання бітуму в спеціальній спінюючій камері, з якої спінений бітум подається у змішувальну камеру.

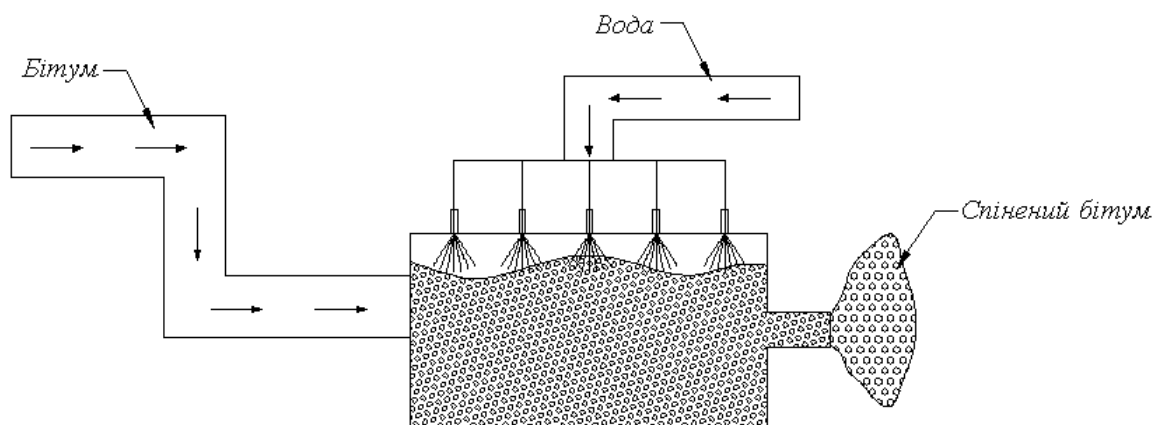


Рисунок 4.5 – Схема процесу спінювання бітуму у спінюючій камері

4.2.3.7.4 Дозування інертних матеріалів

Попереднє дозування інертних матеріалів для вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС на АБЗ складається з таких технологічних операцій:

- переміщення щебеню (гравію) і відсіву у складах;
- завантаження бункерів інертним матеріалом за допомогою фронтального навантажувача за фракціями: (0 – 5); (5 – 10); (10 – 15); (10 – 20); (15 – 20); (20 – 40).

4.2.3.7.5 Просушування інертних матеріалів

4.2.3.7.5.1 Просушування інертних матеріалів і фракціонування на АБЗ складається з таких технологічних операцій:

- підготування сушильного барабана до роботи;
- розпалювання форсунки та введення в дію вентилятора димососа;
- прогрівання сушильного барабана та системи знепилення;
- подавання мінерального матеріалу;
- прогрівання мінерального матеріалу;

4.2.3.7.5.2 Розпалювання форсунки сушильного барабана виконується за (10 – 12) хв до початку подавання холодного мінерального матеріалу. Форсунка повинна працювати з витратою палива (20 – 30) % від максимальної.

4.2.3.7.5.3 Мінеральний матеріал повинен бути прогрітий до температури відповідно до таблиці 3.1.

4.2.3.7.5.4 Режим просушування і нагріву мінеральних матеріалів повинен забезпечувати не тільки задану температуру, але й повне видалення вологи.

4.2.3.7.6 Змішування матеріалів та випуск продукції

4.2.3.7.6.1 Змішування матеріалів та випуск АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС на АБЗ складається з таких технологічних операцій:

- дозування мінеральних матеріалів;
- перемішування «насухо»;
- дозування бітуму;
- перемішування матеріалів;
- випуск АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС.

4.2.3.7.6.2 Тривалість перемішування сумішей визначається в залежності від типу та виду суміші, контролюється системою управління змішувача та залежить від продуктивності змішувача. Норми часу на вироблення та випуск АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС визначаються згідно з СОУ 42.1-37641918-098:2017 [126].

4.2.3.7.6.3 Згідно СОУ 42.1-37641918-085:2018 [127] на основі показників норм часу виконується розрахунок вартості АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС.

4.2.3.7.6.4 В процесі виробництва 1 тони асфальтобетонної суміші використовується на 10 % більше сипучих матеріалів з причини виникнення некондеційної продукції, що оприбутковується на складі ТОВ «АБЗ 1» як «асфальтобетонна крихта» і за потреби може бути передана на переробку стороннім організаціям.

4.2.3.8 Організація трудових процесів

4.2.3.8.1 Склад ланки працівників, що виконують роботи з вироблення та випуску АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} та ЩМАС на АБЗ наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 4.7 – Склад ланки працівників

Склад ланки	Розряд та кількість працівників
Апаратник зневоднення бітуму	4 роз. – 1 чол.
Машиніст насосної установки	2 роз – 1 чол.
Машиніст асфальтобетонної установки	7 роз. – 1 чол.
Помічник машиніста змішувача асфальтобетону	6 роз. – 1 чол.
Машиніст газодувної машини	5 роз. – 1 чол.
Грохотник	3 роз. – 1 чол.
Асфальтобетонники-варники	5 роз. – 2 чол.
	3 роз. – 1 чол.
	2 роз. – 1 чол.
Електрослюсар	5 роз. – 1 чол.
Машиніст навантажувача	6 роз. – 1 чол.
Разом	12 ол.

4.2.3.8.2 До початку виконання робіт з вироблення та випуску АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС, кожний працівник ланки має бути ознайомлений з технічним описом та інструкцію з експлуатації асфальтозмішувальної установки, знати та виконувати правила техніки безпеки.

4.2.3.8.3 В обов'язки ланки входить щоденне обслуговування установки, дрібний поточний ремонт та обслуговування в процесі вироблення

суміші. Перед початком виконання робіт працівники ланки оглядають всі вузли та механізми, готують установку до роботи, машиніст установки отримує завдання на випуск суміші, її рецепт і дані з технічного режиму роботи.

4.2.3.8.4 Машиніст змішувальної установки перевіряє агрегати установки пробним запуском, справність дозаторів, слідкує за технологічним процесом вироблення асфальтобетонних сумішей різних типів і марок за допомогою комп'ютерної програми, управляє процесом сушіння та тепловим режимом нагріву матеріалів.

4.2.3.8.5 Помічник машиніста слідкує за роботою вузлів і деталей установки та подачею мінеральних матеріалів, за якістю перемішування суміші в змішувачі, відпускає готову суміш в транспортні засоби, контролює температуру суміші, веде журнал випуску суміші, спільно з інженером лабораторії відбирає проби для проведення випробувань.

4.2.3.8.6 Машиніст газодувної машини слідкує за температурою матеріалу, що виходить із сушильного барабану, роботою форсунки, витяжного вентилятора і всієї системи знепилення, регулює, за необхідністю, кількість палива і повітря, що подаються, слідкує за якістю горіння форсунки, роботою сушильного барабану та систем подавання палива та повітря.

4.2.3.8.7 Апаратник зневоднення бітуму слідкує за роботою грохотів, сит та іншого устаткування в зоні обслуговування, чистить та замінює сита та колосники, виявляє та усуває несправності у роботі устаткування, що обслуговується, бере участь у його ремонті.

4.2.3.8.8 Електрослюсар забезпечує справний стан електрообладнання (електромережі), електродвигунів, системи автоматики тощо.

4.2.3.8.9 Машиніст навантажувача подає вихідні матеріали (щебінь, щебенево-піщану суміш, відсів) в бункер агрегату живлення змішувальної установки, забезпечує попереднє їх дозування у відповідності із заданою рецептурою та подачею їх на «холодний» елеватор.

4.2.3.8.10 Апаратник зневоднення бітуму виконує процес нагрівання, зневоднення бітуму, відгін легких фракцій відповідно до заданого режиму, слідкує за дотриманням режиму топлення печей конверторів, контролює роботу конденсаційної установки, забезпечує встановлений температурний режим, регулює процес заповнення конверторів зневодненим бітумом, регулює процес зневоднення бітуму за допомогою контрольно-вимірювальних приладів.

4.2.3.8.11 Асфальтобетонник-варник допомагає апаратнику зневоднення бітуму під час його нагріву до робочої температури і очищенні бітумних котлів. Веде процес варіння асфальтобетонних сумішей на агрегатах різних типів з ручним, дистанційним та автоматичним керуванням, розпалює форсунки або пальники, керує роботою контрольно-вимірювальної апаратури, слідує за ходом технологічного процесу, регулює температурний режим варіння маси, переналагоджує агрегат на випуск різних видів сумішей, усуває дрібні несправності у роботі устаткування та бере участь у його ремонті.

4.2.3.8.12 Після закінчення роботи ланка, що обслуговує установку, повинна: припинити подачу палива, загасити форсунки, зупинити вентилятор, живильники «холодного» елеватора, звільнити від матеріалів живильники, сушильний барабан, відсіки бункера гарячих матеріалів, припинити подачу бітуму до змішувача, кам'яні матеріали, що залишились в бункері, пропустити через змішувач сухим замісом, зупинити всі електродвигуни, вичистити від залишків матеріалів і напливів бітуму всі робочі майданчики, оглянути всі вузли та агрегати установки, провести щоденний технічний догляд.

4.2.4 Матеріальний баланс

4.2.4.1 Матеріальний баланс може бути складений на одиницю випущеної продукції, на один виробничий потік або на потужність виробництва в цілому (АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel»). Баланс складають за формою (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8 – Матеріальний баланс

Надходження			Витрата		
Найменування продуктів та компонентів	Масова витрата, кг/т	Масова частка компонента, %	Найменування продуктів та компонентів	Масова витрата, кг/т	Масова частка компонента, %
1	2	3	4	5	6
Примітка. Виробнича норма витрат матеріалів розраховується відповідно до СОУ 42.1-37641918-102					

4.2.4.2 Витрати складових матеріалів для вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС та витрати матеріалів для вироблення модифікованого бітуму визначаються згідно лабораторного підбору. Зернові склади мінеральної частини АБС, АБС_{СБ} та АБС_{БМП} повинні відповідати вимогам, наведеним у таблиці 4.2. Зернові склади мінеральної частини ЩМАС повинен відповідати вимогам, наведеним у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Гранулометричні склади мінеральної частини АБС, АБС_{СБ} та АБС_{БМП}

Група асфальтобетону	Різнovid Гранулометрії	Тип гранулометрії	Вид	Вміст за масою, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм											
				40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,35	0,14	0,071
Щільний	Непереривчастий	А1	КР	100-95	87-75	80-65	73-55	65-45	55-35	42-24	30-17	22-12	16-9	12-6	10-4
		А	Др		100	100-95	92-83	81-67	55-45	42-27	33-18	26-12	20-9	14-6	11-5
						100	100-95	78-67	55-45	41-28	34-20	27-12	20-9	14-6	11-5
							100	100-90	55-45	43-29	35-21	27-13	20-9	15-7	12-6
		Б	КР	100-95		86-78	80-70	74-62	65-50	52-38	39-28	29-20	22-14	16-9	12-6
		Б1	Др		100	100-95	93-84	82-69	65-55	53-41	42-31	33-23	25-16	18-11	14-8
						100	100-95	85-75	65-55	53-42	43-32	33-23	25-16	18-11	14-8
							100	100-90	65-55	53-43	43-33	33-23	25-16	18-11	14-8
		В	ДР		100	100-95	100-88	90-80	75-65	65-51	52-37	40-25	27-16	20-11	16-9
						100	100-95	90-82	75-65	64-51	52-37	40-25	29-16	20-11	16-9
							100	100-90	75-65	64-51	52-37	40-25	29-16	20-11	16-9
		Г	Пщ					100	100-95	83-68	67-45	50-28	35-18	24-11	16-8
		Д	Пщ					100	100-95	93-74	86-53	75-37	55-27	33-17	16-10
	Переривчастий	А1	КР	100-95		80-65	70-55	62-45	50-35	50-28	50-22	50-18	28-14	15-8	10-4
		А	Др		100	100-95	88-80	73-65	55-45	55-35	55-25	55-20	29-12	17-8	11-5
		Б1	КР	100-95		86-78	80-70	74-62	65-50	65-40	65-34	65-27	40-20	23-14	12-6
		Б	Др			100-95	100-85	100-70	65-55	65-40	65-34	65-27	40-20	23-14	12-6
Пористий	Непереривчастий	А-Б	Кр	100-95	99-97	97-70	94-57	76-45	65-27	50-18	38-10	28-7	22-4	15-3	8-2
		А-Б	ДР			100-70	95-57	76-45	65-27	50-18	38-10	28-7	22-4	15-3	8-2
	Переривчастий	А-Б	Кр	100-95	99-96	96-65	92-54	88-42	65-30	65-25	65-18	65-12	40-8	22-5	8-2
		А-Б	ДР			100-65	100-54	88-42	65-30	65-25	65-18	65-12	40-8	22-5	8-2
Високопористий	Непереривчастий	А-Б	Кр	100-95	99-97	97-70	94-57	76-45	65-27	50-18	38-10	28-7	22-4	15-3	8-2
		А-Б	ДР			100-70	95-57	76-45	65-27	50-18	38-10	28-7	22-4	15-3	8-2
		А-Б	Пщ					100	100-95	100-68	100-45	88-28	73-18	45-10	10-4
	Переривчастий	А-Б	Кр	100-95	99-96	96-65	92-54	88-42	65-30	65-25	65-18	65-12	40-8	22-5	8-2
		А-Б	ДР			100-65	100-54	88-42	65-30	65-25	65-18	65-12	40-8	22-5	8-2

Примітка. Під час приймально-здавальних випробувань дозволяється визначати зерновий склад суміші за контрольними розмірами зерен, що виділені жирним шрифтом.

Таблиця 4.10 – Зернові склади мінеральної частини ЦМАС

Вид ЦМАС та ЦМА	Вміст мінеральних зерен, % за масою, менших даного розміру, мм										
	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
ЦМА- 5, ЦМАС-5		-	-	-	100-90	43-32	29-18	24-15	22-14	18-12	16-11
ЦМА-10, ЦМАС-10	-	-	-	100-90	40-30	29-19	26-16	22-13	20-11	17-11	15-10
ЦМА-15, ЦМАС-15	-	-	100-90	60-40	35-25	28-18	25-15	22-12	20-10	16-9	14-9
ЦМА-20, ЦМАС-20	-	100-90	70-50	42-25	30-20	25-15	24-13	21-11	19-9	15-8	13-8
ЦМА-40 ЦМАС-40	100-90	77-55	57-36	38-22	27-16	24-13	21-11	19-10	17-9	15-8	12-7

4.2.4.3 Вимоги до фізико-механічних характеристик АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} згідно з ДСТУ 8959:2019 [118], ДСТУ Б В.2.7-119:2019 [78] та ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [119], які виготовляються на АБЗ наведено у таблицях 4.11, 4.12, 4.13.

Таблиця 4.11 – Вимоги до фізико-механічних характеристик АБ марок І та ІІ відповідно до кліматичного району

Назва показників	Норма для АБС марок у залежності від району	
	I	II
	А-2	
1	2	3
1. Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом, для АБС типів:		
– А1, А і Б1, Б	15-19	15-19
– В і Г	18-22	18-22
– Д	-	18-22
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	2-5	2-5
3. Водонасичення, % за об'ємом, для АБС типу, не більше ніж:		
– А1, А	3,5	3,5
– Б1, Б, В і Г	3,0	3,0
– Д	-	3,0
4. Границя міцності на стиск, МПа, за температури:		
– 0 °С для асфальтобетону всіх типів, не більше ніж	12,0	13,0
– 20 °С для асфальтобетону всіх типів, не менше ніж	2,7	2,5
– 50 °С для асфальтобетону типів:		
– А1, А, не менше ніж	1,2	1,1
– Б1, Б і В, не менше ніж	1,3	1,2

Кінець таблиці 4.11

– Г, не менше ніж	1,4	1,3
– Д, не менше ніж	-	1,2
5. Коефіцієнт довготривалої водостійкості або коефіцієнт водостійкості за експрес-методом, не менше	0,90/0,87	0,89/0,85
Примітка 1. Вимоги до коефіцієнта довготривалої водостійкості у чисельнику наведено для шару покриття та зв'язуючого шару, у знаменнику — для шару основи. Примітка 2. Значення показника границі міцності на стиск за температури 0 °С визначають тільки для асфальтобетону без застосування модифікуючих добавок та з використанням в'язких нафтових дорожніх бітумів марок БНД 35/50, БНД 50/70, БНД 70/100, БНД 100/150 та БНД 150/220 згідно з ДСТУ 4044.		

Таблиця 4.12 – Вимоги до фізико-механічних характеристик щільного АБ_{БМП} відповідно до кліматичного району

Назва властивостей	Норма для АБ _{БМП} залежно від району
	А-2
1. Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом, для АБ _{БМП} типів: А, А1, Б, Б1 В	15-19 18-22
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	2-5
3. Водонасичення, % за об'ємом, не більше ніж, для АБ _{БМП} типів: А; А1 Б; Б1; В	3,5 3,0
4. Границя міцності на стиск, МПа, за температури: 20 °С для АБ _{БМП} всіх типів, не менше ніж 50 °С для АБ _{БМП} типів: - А, А1, не менше ніж - Б, Б1 і В, не менше ніж	3,0 1,6 1,8
5. Границя міцності на розтягування за розколюванням за температури 0 °С і швидкості деформування 50 мм/хв, МПа	2,0-5,0
6. Коефіцієнт довготривалої водостійкості, не менше ніж	0,90
7. Коефіцієнт морозостійкості, не менше ніж	0,85

Таблиця 4.13 – Вимоги до фізико-механічних характеристик ЩМА відповідно до кліматичного району

Назва показника	Норми відповідно до районування
	А-2
1	2
1. Пористість мінеральної частини (кістяка), % за об'ємом	15-19
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	1,5-3,5
3. Водонасичення, % за об'ємом: – лабораторних зразків – вирубків і кернів з покриття, не більше	1,0-3,0 3,5
4. Границя міцності на стиск, МПа, за температури: – 20 °С, не менше – 50 °С, не менше	3,2 0,9

Кінець таблиці 4.13

5. Умовний коефіцієнт внутрішнього тертя, не менше	0,85
6. Умовне зчеплення за зсувом за температури 50 °С, МПа, не	0,18
7. Границя міцності на розтяг за розколюванням за температури 0 °С, МПа	3,0-6,5
8. Водостійкість за тривалого водонасичення, не менше	0,90
Примітка 1. Під час використання ЩМАС для покриттів аеродромів у місцях стоянки повітряних суден норми міцності на стиск та умовне зчеплення за зсувом потрібно збільшити на 20 %. Примітка 2. Умовний коефіцієнт внутрішнього тертя та умовне зчеплення за зсувом за температури 50 °С визначають під час проектування складу ЩМАС та під час кожної зміни складових ЩМАС.	

4.2.5 Контроль виробництва та управління технологічним процесом

4.2.5.1 Автоматизація виробництва АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС на АБЗ – це етап машинного виробництва, за яким функції керування і контролю виконуються приладами та автоматичними або напівавтоматичними пристроями. На АБЗ використовують сучасну автоматину виробництва за допомоги автоматичної систему управління (АСУ).

4.2.5.2 Головним завданням АСУ є забезпечення її високої експлуатаційної надійності та якості вироблення асфальтобетонної суміші з урахуванням вимог ДСТУ 8959:2019 [118], ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [78], ДСТУ Б В.2.7-305:2015 [128], ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [119] та СОУ 42.1-37641918-114:2014 [129].

4.2.5.3 Блок релейно-контактного контролера АСУ є «бортовою» системою управління асфальтозмішувальної установки АБЗ. У ньому закладена можливість роботи в складних умовах промислового виробництва: великі перепади температури, запиленість, вібрація, електромагнітні перешкоди.

4.2.5.4 АСУ на АБЗ реалізує наступні функції управління процесом вироблення асфальтобетонних сумішей:

а) автоматичний запуск виконавчих механізмів установки по ділянках з збереженням всіх блокувань;

б) дистанційне керування електрообладнанням виконавчих механізмів ділянок подавання кам'яних матеріалів, нагрівання кам'яних матеріалів, вироблення асфальтобетонної суміші, скіпового господарства в автоматичному, ручному та налагоджувальних режимах;

- в) автоматичне дозування кам'яних матеріалів, бітуму, їх перемішування і видачу в бункер готової суміші, в проміжний бункер або в кузов автомобіля;
- г) управління продуктивністю живильників;
- д) автоматичний контроль станів виконавчих механізмів установки;
- е) контроль і відображення фактичних значень температур:
 - 1) газів, що відходять і кам'яних матеріалів у сушильному барабані;
 - 2) бітуму у видатковій ємності;
 - 3) асфальтобетонної суміші в бункері готової суміші.
- ж) автоматичні функції управління:
 - 1) підтримка заданого розрядження в сушильному барабані;
 - 2) розрахунок і корекція попередження під час дозування фракцій;
 - 3) контроль за наявністю полум'я в сушильному барабані;
- и) відображення фактичних значень параметрів технологічного процесу:
 - 1) поточна вага компонентів суміші;
 - 2) задана вага компонентів суміші згідно з підбором;
 - 3) розрядження в сушильному барабані;
 - 4) продуктивність всіх живильників;
 - 5) температура газів, що відходять;
 - 6) температура кам'яних матеріалів у сушильному барабані;
 - 7) температура асфальтобетонної суміші в бункері готової суміші;
 - 8) температура бітуму;
 - 9) стан всіх механізмів установки.
- к) попереджувальну та аварійну сигналізацію;
- л) відлік поточного часу і дати;
- м) ведення архіву рецептів;
- н) звіт про виконану роботу та витрату матеріалів зі збереженням у пам'яті та видачою інформації на принтер.

4.2.5.5 АСУ на АБЗ забезпечує налагоджувальний, ручний і автоматичний режими роботи установки.

4.2.5.5.1 Ручний режим використовується під час виконання ремонтних та налагоджувальних робіт та під час технічного обслуговування установки. Ручний режим дозволяє перевірити роботу всіх механізмів без логічних блокувань. Працювати в налагоджувальному режимі має право налагоджувальник, який добре знає алгоритм роботи установки і має допуск на виконання цих робіт.

4.2.5.5.2 Ручний режим використовується для:

- завершення технологічного циклу;
- виведення механізмів установки з аварійних ситуацій;
- звільнення гарячих бункерів від залишків матеріалу в кінці зміни;
- управління установкою оператором.

4.2.5.5.3 Автоматичний режим

4.2.5.5.3.1 Включити установку в автоматичний режим можна з початкового стану або в процесі роботи з ручного режиму. Автоматичний режим забезпечує запуск і роботу ділянок подавання, нагрівання, вироблення асфальтобетонної суміші і скіпового господарства без втручання оператора.

4.2.5.5.3.2 Запуск установки в автоматичному режимі здійснюється включенням кнопок «Автомат» всіх ділянок, при цьому відбувається послідовне включення механізмів установки відповідно до закладеного алгоритму, розпал і вихід на задані режими нагріву і продуктивності.

4.2.5.6 Під час вироблення АБС, АБС_{СБ}, АБС_{БМП} або ЩМАС потрібно контролювати:

- температуру бітуму і мінеральних матеріалів (постійно), що надходять до змішувача, а температуру готової суміші – у кузові кожного автомобіля-самоскида;
- одну пробу від кожної партії (приймально-здавальний контроль), один раз на місяць та для кожного нового складу сумішей (періодичний контроль). Якість суміші визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [79];
- не рідше одного разу за 10 днів якість мінерального порошку згідно з ДСТУ Б В.2.7-121:2014 [76] та якість щебеню згідно з ДСТУ Б В.2.7-71-98 [131].

4.2.5.7 Роботу дозаторів мінеральних матеріалів, бітуму потрібно контролювати у встановленому порядку. Похибка дозування компонентів асфальтобетонної суміші повинна відповідати вимогам ДСТУ 8959:2019 [118], ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [78] та ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [119] яка становить для:

- щебеню та піску $\pm 3 \%$ від їх маси;
- бітуму $\pm 1,5 \%$.

4.3 Практичне застосування удосконаленої технології приготування теплих асфальтобетонних сумішей

Практичне використання удосконаленої технології приготування теплих асфальтобетонних сумішей було здійснене під час виконання робіт з улаштування асфальтобетонного покриття міжбудинкового проїзду у місті Києві на проспекті Маршала Рокоссовського у 2019 році.

Асфальтобетонна суміш, виготовлена за знижених технологічних температур із додаванням енергозберігаючої добавки та асфальтобетонної крихти на заводі ТОВ «АБЗ 1» «ASTEC Portable 6' Double Barrel» (ТОВ «АБЗ1», М. Київ, вул. 9-го Травня, 49).

Було проведено супровід процесу виготовлення та улаштування асфальтобетонної суміші, що виготовлена за знижених технологічних температур із контролем технологічних температур за допомогою тепловізора.

Були зафіксовані температури розігріву мінеральних матеріалів, бітуму, температуру під час перемішування. Температура суміші, що завантажувалася в автосамоскид складала 159°C .

Температура суміші під час улаштування шару асфальтоукладачем – від 150°C до 125°C , температура ущільнення суміші котками – від 125°C до 110°C .

Фото з тепловізора із технологічними температурами асфальтобетонної суміші наведено на рисунку 4.6.

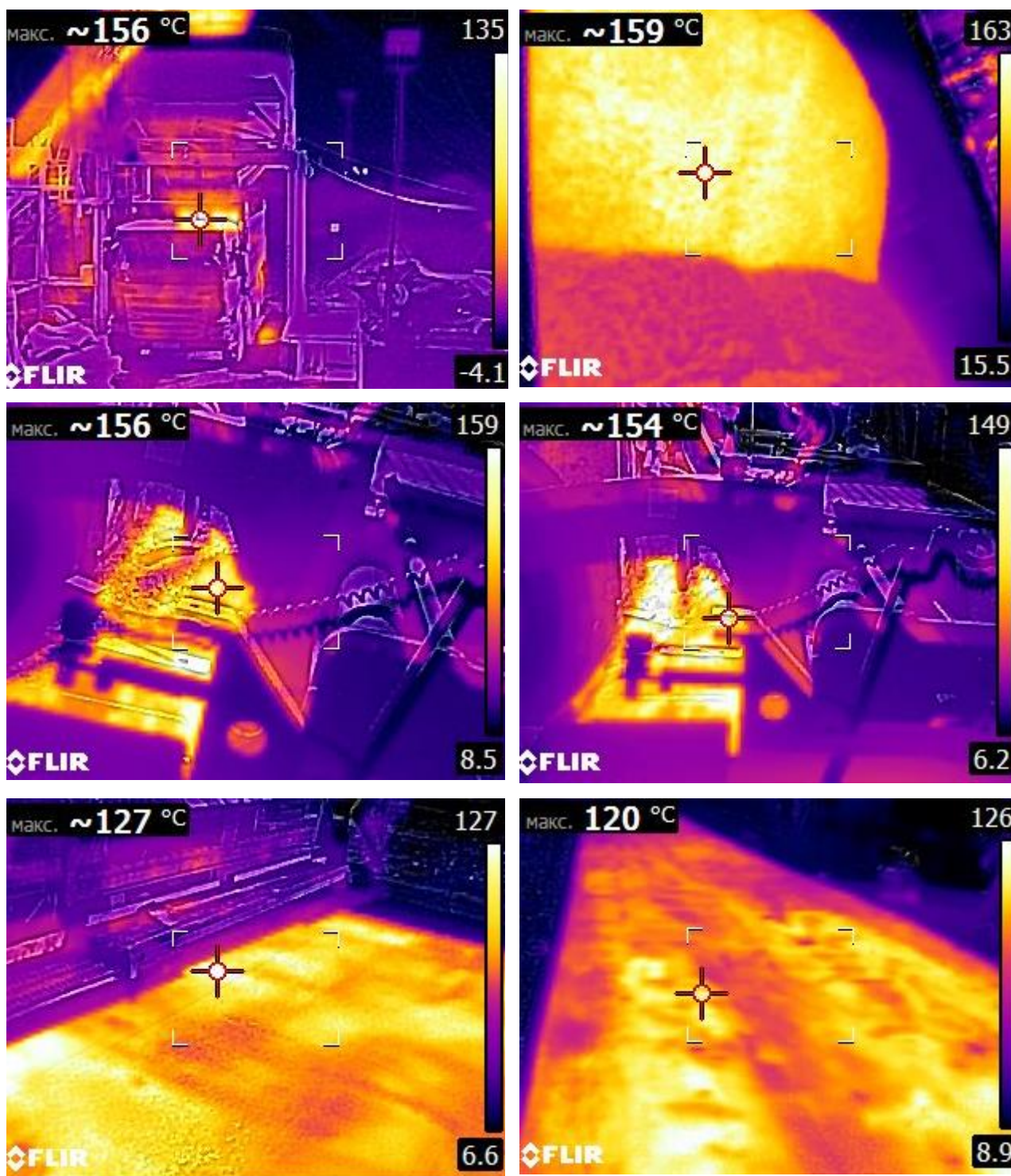


Рисунок 4.6 – Загальний вигляд фото з тепловізора із технологічними температурами асфальтобетонної суміші

Загальний вигляд поверхні асфальтобетонного покриття після експлуатації близько п'яти років на 2024 рік наведено на рисунках 4.7 – 4.9.



Рисунок 4.7 – Загальний поверхні асфальтобетонного покритву



Рисунок 4.8 – Загальний поверхні асфальтобетонного покритву

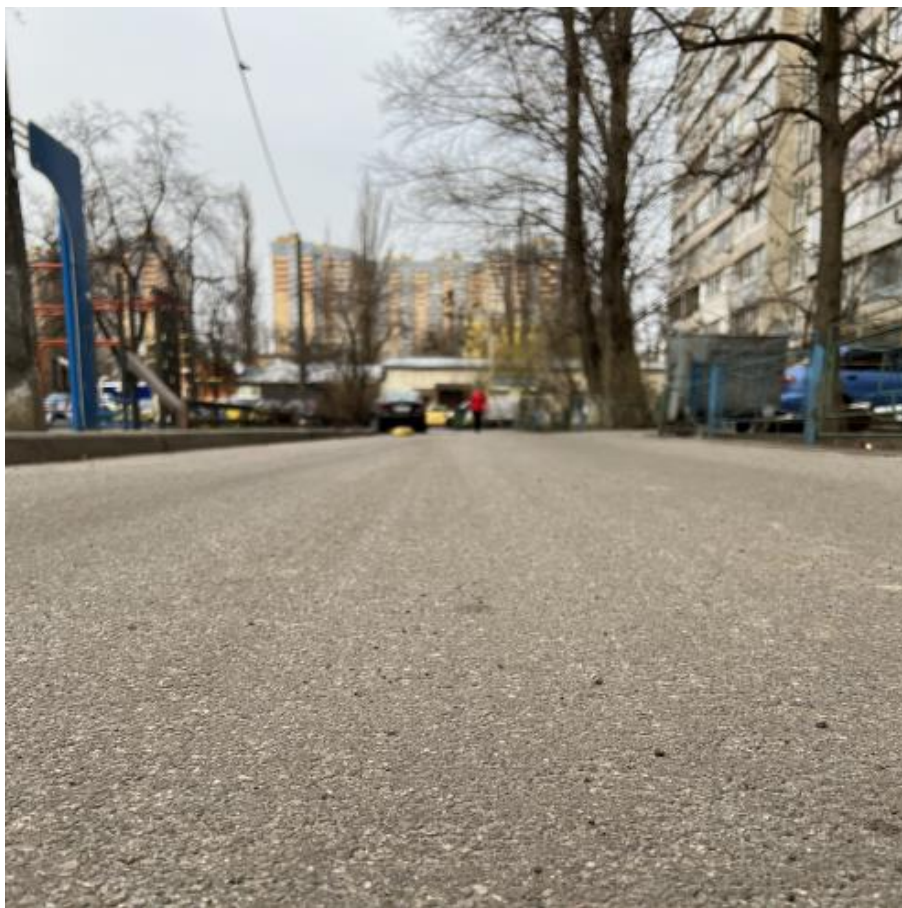


Рисунок 4.9 – Загальний поверхні асфальтобетонного покриття

За результатами візуального обстеження у 2024 році будь-яких дефектів чи руйнувань асфальтобетонного покриття не зафіксовано.

Висновки до розділу 4

Результати досліджень показують, що приготування теплих асфальтобетонних сумішей є економічно вигіднішими, оскільки за рахунок зменшення кількості бітумного в'язучого та складових, замінивши їх на асфальтобетонну крихту, можна досягти економії у вартості матеріалів на 14,8 %, а вартості технології приготування на 20 %. Вартість приготування за будь-якою технологією є надто залежною від вартості будівельних матеріалів та частки використання місцевих матеріалів. Використання технологій теплих асфальтобетонів призводить до зменшення забруднення атмосфери. Нижчі температури змішування та модифікація бітуму призводять до іншої в'язко-

пружної поведінки в'язучого в дорожньому покритті, виготовленому за технологією теплового асфальтобетону. Менше старіння під час виробництва та укладання, як правило, покращує гнучкість покриття, що зменшує втомлюваність та температурне розтріскування. Це призводить до покращення довговічності (життєвого циклу) дорожнього одягу, що ще більше зменшує потенційні витрати на відновлення асфальтобетонного покриття, також зниження в'язкості бітуму в процесі виробництва дозволяє використовувати більший відсоток асфальтобетонної крихти.

Виконано супровід технологічних процесів під час виготовлення з використанням спіненого бітуму асфальтобетонної суміші на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant», транспортування та улаштування асфальтобетонного покриття із використанням технології теплих асфальтобетонів з відповідним відпрацюванням температур технологічних процесів.

Розроблений технологічний регламент на виробництво асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму, яким встановлено:

- загальна характеристика виробництва;
- характеристика вихідних матеріалів;
- опис технологічного процесу;
- матеріальний баланс;
- контроль виробництва та управління технологічним процесом;
- охорона навколишнього середовища;
- основні вимоги щодо безпеки і охорони праці.

Результати досліджень четвертого розділу викладено у наступних публікаціях [60 – 61, 133 – 136].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, що полягає в удосконаленні технології будівництва асфальтобетонних шарів з використанням теплих сумішей. Отримані нові наукові результати, які дозволяють встановлювати чіткі параметри технологічного процесу та забезпечувати отримання більш економічних рішень при виконанні робіт будівництва та відновлення автомобільних доріг.

1. На основі аналітичного огляд існуючого закордонного досвіду використання теплих асфальтобетонних сумішей обґрунтовано доцільність використання технологій теплих асфальтобетонів. Узагальнені відповідні теоретичні передумови формування найбільш значимих фактори, що впливають на структуру поведінки асфальтобетонного покриття, улаштованого із теплих асфальтобетонних сумішей. За результатами експертної оцінки, за допомогою факторного аналізування, встановлено, що такими параметрами є кількість доданої асфальтобетонної крихти, температура перемішування суміші та вміст енергозберігаючої добавки.

2. За допомогою методу експериментально-статистичного моделювання сформовані математичні моделі щодо залежності основних фізико-механічних властивостей теплих асфальтобетонів від зміни найбільш значимих параметрів технологічного процесу.

3. На основі математичного моделювання визначено раціональний вміст енергозберігаючої добавки для збереження рухливості та зручноукладаності асфальтобетонної суміші, що виготовлена за зниженими, у порівнянні із традиційними технологіями температурами; на основі проведених досліджень встановлено раціональні області температур перемішування під час виготовлення та раціональну кількість доданої асфальтобетонної крихти від маси суміші. Реалізація розроблених математичних моделей дала змогу встановити раціональні області досліджуваних параметрів: температура змішування

суміші – (133 – 138) °С; вміст енергозберігаючої добавки – (0,12 – 0,17) %; кількість доданої асфальтобетонної крихти – (18 – 22) %.

4. На підставі техніко-економічного обґрунтування підтверджена доцільність застосування технології теплих асфальтобетонів, за рахунок зменшення технологічних температур зощаджується значна кількість палива на розігрівання агрегатів, нові фізико-хімічні ефекти дозволяють знизити кількість використання бітуму, можливо додавати більшу кількість асфальтобетонної крихти у суміш. Всі переаховані фактори дають нам змогу досягти економії у вартості матеріалів близько 15 %, а у вартості технології приготування – 20 %.

Результати досліджень впроваджено при розробленні технологічних регламентів (ТР 03450778/44583855-001:2023 та ТР 03450778/44583855-002:2023) і підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України (Агентство відновлення), ТОВ «АБЗ1», ТОВ «БП «ІНФРАСТРУКТУРА ІНВЕСТ». Також результати досліджень були впроваджені у навчальний процес, а саме при викладанні дисциплін «Експлуатація автомобільних доріг», «Сучасні технології будівництва автомобільних доріг» та в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конференція ООН з питань клімату у Парижі.
URL: <https://www.ispc.org.ua/archives/2616>
2. G. Cheraghian, A.C. Falchetto, Z. You, S. Chen, Y.S. Kim, J. Westerhoff, H.M. Ki, M.P. Wistuba. Warm mix asphalt technology: an up to date review. *Journal of Cleaner Production*. Volume 268, 20 September 2020, Article number 122128J.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122128>
3. Oliviero Rossi C., Caputo P., De Luca G., Maiuolo L., Eskandarsefat S., Sangiorgi C.: 1H-NMR Spectroscopy: A Possible Approach to Advanced Bitumen Characterization for Industrial and Paving Applications. *Applied Sciences*. Switzerland, 2018. Vol. 8. 229 p. URL: <https://doi.org/10.3390/app8020229>
4. Capitão S.D.; Picado-Santos L.G.; Martinho F. Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt. *Constr. Build. Mater.* 2012, 36, 1016–1024.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.038>
5. Ma, F.; Sha, A.; Lin, R.; Huang, Y.; Wang, C. Greenhouse gas emissions from asphalt pavement construction: A case study in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13, 351.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820337855>
6. M.Sc.(Chem.Eng.) Erik Olesen, personal conversation. Project manager, Research and Development department, Danish Road Institute.
7. Vidal, R.; Moliner, E.; Martínez, G.; Rubio, M.C. Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement. *Resour. Conserv. Recycl.* 2013, 74, 101–114.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344913000554>
8. Oliveira, J.; Silva, H.; Fonseca, P.; Kim, Y.; Hwang, S.; Pyun, J.; Lee, H. Laboratory and field study of a WMA mixture produced with a new temperature reduction additive. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Warm Mix Asphalt*, St. Louis, MO, USA, 11–13 October 2011; pp. 11–13.

9. Davidson, J.K. Reducing Paving Emissions through the Use of Warm Mix Technology. In *Congres Annual—Bitume Quebec*, Trois Rivieres, Canada; Canadian Technical Asphalt Association: West Kelowna, BC, Canada, 2007.

10. Ma, H.; Zhang, Z.; Zhao, X.; Wu, S. A comparative life cycle assessment (LCA) of warm mix asphalt (WMA) and hot mix asphalt (HMA) pavement: A case study in China. *Adv. Civ. Eng.* 2019, 2019, 9391857.

URL: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2019/9391857/>

11. Hamzah, M.O.; Golchin, B. A laboratory investigation on the rheological properties of asphalt binder containing Rediset. *J. East. Asia Soc. Transp. Stud.* 2013, 10, 1537–1550. URL: <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja>

12. Middleton, B.; Forfyflow, R. Evaluation of warm-mix asphalt produced with the double barrel green process. *Transp. Res. Rec.* 2009, 2126, 19–26.

URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2126-03>

13. Rubio, M.d.C.; Moreno, F.; Martínez-Echevarría, M.J.; Martínez, G.; Vázquez, J.M. Comparative analysis of emissions from the manufacture and use of hot and half-warm mix asphalt. *J. Clean. Prod.* 2013, 41, 1–6.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612005070>

14. Vaitkus, A.; Čygas, D.; Laurinavičius, A.; Perveneckas, Z. Analysis and evaluation of possibilities for the use of warm mix asphalt in Lithuania. *Balt. J. Road Bridge Eng.* 2009, 4, 80–86.

URL: <https://www.researchgate.net/publication/245443860>

15. Rubio, M.C.; Martínez, G.; Baena, L.; Moreno, F. Warm mix asphalt: An overview. *J. Clean. Prod.* 2012, 24, 76–84.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652611004926>

16. Silva, H.M.R.D.; Oliveira, J.R.M.; Ferreira, C.I.G.; Pereira, P.A.A. Assessment of the performance of warm mix asphalts in road pavements. *Int. J. Pavement Res. Technol.* 2010, 3, 119–127.

URL: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/18696>

17. EAPA. The Use of Warm Mix Asphalt // European Asphalt Pavement Association. – Brussels, Belgium, 2010:, 2010. – C. 67.

URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/13383531>

18. Ma, F.; Sha, A.; Lin, R.; Huang, Y.; Wang, C. Greenhouse gas emissions from asphalt pavement construction: A case study in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13, 351.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820337855>

19. Dony, A. Reclaimed asphalt concretes with high recycling rates: Changes in reclaimed binder properties according to rejuvenating agent. A. Dony, J. Colin, D. Bruneau, I. Drouadaine, J. Navaro. *Construction and Building Materials*. – 2013 April. – Volume 41, pp. 175-181.

URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061812008586>

20. D'Angelo, John, et al. Warm-Mix Asphalt: European Practise. American Trade Initiatives. Washington, DC : U.S. Department of Transportation, February 2008.

21. School of Civil Engineering Nottingham Transportation Engineering Centre The influence of foamed bitumen characteristics of cold mix asphalt properties. Sri Sunarjono, Ir., M.T. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy, January 2008.

22. Polo-Mendoza, R.; Penabaena-Niebles, R.; Giustozzi, F.; Martinez-Arguelles, G. Eco-friendly design of Warm mix asphalt (WMA) with recycled concrete aggregate (RCA): A case study from a developing country. *Constr. Build. Mater.* 2022, 326, 126890. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126890>

23. Merusi F.; Polacco G.; Filippi S.; Giuliani F. Structural transitions and physical networks in wax-modified bitumens. *Road Mater. Pavement Des.* 2013, 14, 289–309. URL: <https://doi/abs/10.1080/14680629.2013.792292>

24. Kristjansdottir O. Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving; University of Washington: Washington, DC, USA, 2006.

25. Ai C.; Li Q.J.; Qiu Y. Testing and assessing the performance of a new warm mix asphalt with SMC. *J. Traffic Transp. Eng. (Engl.Ed.)* 2015, 2, 399–405.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2015.10.002>

26. Xiao F.; Punith V.S.; Amirkhanian S.N. Effects of non-foaming WMA additives on asphalt binders at high performance temperatures. *Fuel* 2012, 94, 144–155. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.038>
27. Chowdhury, Arif and Button, Joe. A Review of Warm Mix Asphalt. Texas Transportation Institute. Springfield, Virginia : National Technical Information Service, December 2008. Technical report.
28. Prowell B.D.; Hurley G.C.; Frank B. Warm-Mix Asphalt: Best Practices; National Asphalt Pavement Association: Lanham, MD, USA, 2011.
29. Pérez-Martínez M.; Moreno-Navarro F.; Martín-Marín, J.; Ríos-Losada C.; Rubio-Gámez, M.C. Analysis of cleaner technologies based on waxes and surfactant additives in road construction. *J. Clean. Prod.* 2014, 65, 374–379. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.012>
30. Kheradmand B.; Muniandy R.; Hua, L.T.; Yunus R.B.; Solouki A. An overview of the emerging warm mix asphalt technology. *Int. J. Pavement Eng.* 2014, 15, 79–94. URL: <https://doi.org/10.1080/10298436.2013.839791>
31. Arabani M.; Roshani H.; Hamed G.H. Estimating moisture sensitivity of warm mix asphalt modified with zycosoil as an antistrip agent using surface free energy method. *J. Mater. Civ. Eng.* 2012, 24, 889–897. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000455](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000455)
32. Croteau J.-M.; Tessier B. Warm Mix Asphalt Paving Technologies: A Road Builder's Perspective. In Proceedings of the Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Toronto, ON, Canada, 22–24 September 2008.
33. Harder G.A.; LeGoff Y.; Loustau A.; Martineau Y.; Heritier B.; Romier A. Energy and environmental gains of warm and half-warm asphalt mix: Quantitative approach. In Proceedings of the Transportation Research Board 87th Annual Meeting, Washington, DC, USA, 13–17 January 2008.
34. Hasan, M.R.M.; You, Z.; Yang, X. A comprehensive review of theory, development, and implementation of warm mix asphalt using foaming techniques. *Constr. Build. Mater.* 2017, 152, 115–133. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.135>

35. Ranieri, V.; Kowalski, K.J.; Berloco, N.; Colonna, P.; Perrone, P. Influence of wax additives on the properties of porous asphalts. *Constr. Build. Mater.* 2017, 145, 261–271.
36. Oner, J.; Sengoz, B. Utilization of recycled asphalt concrete with warm mix asphalt and cost-benefit analysis. *PLoS ONE* 2015, 10, e116180.
URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116180>
37. Goh, S.W.; You, Z.; Van Dam, T.J. Laboratory evaluation and pavement design for warm mix asphalt. In *Proceedings of the 2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Ames, Iowa, 16–17 August 2007; pp. 1–11.
38. Sargand, S.; Figueroa, J.L.; Edwards, W.; Al-Rawashdeh, A.S. *Performance Assessment of Warm Mix Asphalt (WMA) Pavements*; Ohio Research Institute for Transportation and the Environment: Columbus, OH, USA, 2009.
41. Al-Rawashdeh, A.S. *Performance Assessment of Warm Mix Asphalt (WMA) Pavements*. Ph.D. Thesis, Ohio University, Columbus, OH, USA, 2008.
42. Calabi-Floody, A.T.; Valdés-Vidal, G.A.; Sanchez-Alonso, E.; Mardones-Parra, L.A. Evaluation of Gas Emissions, Energy Consumption and Production Costs of Warm Mix Asphalt (WMA) Involving Natural Zeolite and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Sustainability* 2020, 12, 6410.
URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116180>
43. P. Caputo, A.A. Abe, V. Loise, M. Porto, P. Calandra, R. Angelico, C. Oliviero Rossi. The role of additives in warm mix asphalt technology: an insight into their mechanisms of improving an emerging technology *Nanomaterials*, 10 (6) (2020), p. 1202. URL: <https://doi.org/10.3390/nano10061202>
44. Rahman, M.A.; Ghabchi, R.; Zaman, M.; Ali, S.A. Rutting and moisture-induced damage potential of foamed warm mix asphalt (WMA) containing RAP. *Innov. Infrastruct. Solut.* 2021, 6, 1–11.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-021-00528-7>

45. С. Кіщинський, Л. Кириченко, Н. Бондар, Е. Гнатюк, Н. Любченко, Л. Гончар, В. Жданюк, М. Бевзюк. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробити технологію приготування полімерасфальтобетону з використанням спінених модифікованих бітумів». Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна, Київ 2007.

46. Perkins, Steven. Synthesis of warm mix asphalt paving strategies for use in Montana highway construction. Montana : the state of Montana, department of transportation, November 2009.

47. Low Emission Asphalt.

URL: <https://www.pavetechinc.com/wp-content/uploads/2022/06/.pdf>

48. D'Angelo, John, et al. Warm-Mix Asphalt: European Practise. American Trade Initiatives. Washington, DC : U.S. Department of Transportation, February 2008.

49. Drüschner, Lotar. Experience with Warm Mix Asphalt in Germany. Sønderborg: NVF-rapporter, 2009. guest report in conference.

50. С. Кіщинський, Л. Кириченко, І. Волошина, Н. Любченко, Н. Бондар, Е. Гнатюк. Висновок про властивості теплового асфальтобетону McAsphalt-Evotharm з добавкою «Evotharm-3G», Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна, Київ 2009.

51. A. Chariwala, S. Patel, M. Shaikh, Sagar A. Tailor. A Study On Warm Mix Asphalt Technology On Bituminous Mixes using Rediset-Wmx. Journal of Mechanical and Civil Engineering. Published 1 April 2016.

URL: <https://doi.org/10.9790/1684-1304061525>

52. EAPA. The Use of Warm Mix Asphalt // European Asphalt Pavement Association. – Brussels, Belgium, 2010.; 2010. – С. 67.

URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/13383531>

53. LowTherm 4G енергозберігаюча добавка для виробництва теплих асфальтобетонних сумішей (WMA).

URL: <https://aron.ua/lowtherm-4-g>

54. Milad A., Babalghaith A.M., Al-Sabaei A.M., Dulaimi A., Ali A., Reddy S.S., Bilema M., Yusoff N.I.M. A Comparative Review of Hot and Warm Mix

Asphalt Technologies from Environmental and Economic Perspectives: Towards a Sustainable Asphalt Pavement. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022;19:14863.

55. Asphalt in Figures 2022 // The European Asphalt Pavement Association (EAPA). - 2022. - Vers. 20-02-2022. - 13 P. URL: <https://eapa.org/asphalt-in-figures>

56. Р В.2.7-37641918-894:2018. Рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів. Київ, 2018. 30 с.

57. С Кіщинський, В. Гончаренко, В. Нагайчук, А. Єремейчук. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести дослідження та розробити рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів. Експериментальні дослідження процесів приготування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів». Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна, Київ 2017.

58. Мудриченко А.Я., Савенко В.Я Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використання теплих сумішей. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». К.: НТУ, 2018. – Вип. 103, С. 075 – 083.

59. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Технологія приготування теплих асфальтобетонних сумішей на в'язкому бітумі. *Матеріали LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2017. С. 134 – 135.

URL: <https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvopAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

60. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Теплі асфальтобетонні суміші як компонент енергозбереження у дорожньому будівництві. *Матеріали LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*, НТУ, 2023 р. Київ. С. 154 – 155.

URL: <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2023-79>

61. Мудриченко А.Я. Використання теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму в дорожньому будівництві. І Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2022. С. 5-6.

URL: <https://doi/10.36100/conference2022.01>

62. Копинець І., Дослідження зміни властивостей асфальтобетонів під час старіння // Дороги і мости. – 2016. с. 69-75.

63. Dony, A. Warm mix asphalt technology: An up to date review [Текст] / Dony, A. Cheraghian G., Cannone Falchetto A., You Zhanping, Siyu Chen, Yun Su Kim, Westerhoff J., Ki Hoon Moon, Michael P. Wistuba// Construction and Building Materials. – 2020 September. – Volume 268,

URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620321752>

64. Кіщинський С. В., Копинець І. В., Соколов О. В. Використання енергозберігаючих добавок для зниження технологічних температур приготування асфальтобетонних сумішей. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 99. 2017. С. 49 – 57.

65. Кіщинський С. В., Копинець І. В. Вплив вмісту термоеластопластів на властивості та старіння бітумів різного виробництва. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Випуск 79. 2017. С. 33 – 40.

66. Копинець І. В., Соколова О. Б., Соколов О. В., Юнак А. Л. Вплив добавок на основі синтетичних восків на експлуатаційні та технологічні властивості бітумів // Дороги і мости. – 2019. – Вип. 19-20. – С. 107-116.

67. Вирожемський В. К., Кіщинський С. В., Копинець І. В., Соколова О. Б., Гудима І. В., Юнак А. Л. Вплив технологічних температур на зчеплюваність бітумів, модифікованих адгезійними добавками, з мінеральним матеріалом. Автошляховик України. № 2. 2018. С. 49 – 57.

68. Золотарьов В. А. Довговічність дорожніх асфальтобетонів. Х.: Вища школа, 1997. 116 с.

69. Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С. Вплив нових полімерних матеріалів серії Бутонал NS 104 на фізико-механічні властивості асфальтобетону. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: науково-технічний збірник. 2011. Вип. 81. С. 55-68.

70. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Ольховий Б.Ю., Опрощенко І.О., Куцман О.М., Різніченко О.С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С.283-293.

71. Головка С. К. Визначення розрахункових характеристик асфальтобетонів, що містять повторно використовуваний асфальтобетон. *Автодорожній комплекс України в сучасних умовах: проблеми і шляхи розвитку*: збірник наукових праць. Київ, 1998. С.176-179.

72. Гамеляк І. П., Ренейська С. В., Палешов О. С. Удосконалення технології гарячого ресайклінгу асфальтобетонних покриттів нежорстких дорожніх та аеродромних покриттів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*.

73. Желтобрюх А. Д., Малій П. Р., Одегова Т. С., Тимошук О. Ю. Використання асфальтобетонних сумішей на основі спіненого бітуму // Дороги і мости. – 2019. – Вип. 19-20. – С. 94-106.

URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.094>

74. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови.

75. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови.

76. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови.

77. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови.

78. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови.
79. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань.
80. Savenko V., Honcharenko V., Illiash S., Mudrychenko A., Balashov I. Substantiating the choice and optimizing the parameters for the technology of hot recycling of asphalt concrete road coating. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 3/1 (105). P. 76-84.
81. Mudrychenko A., Savenko V., Illiash S., Honcharenko V., (2024) Determination of the weight of factors affecting the physical and mechanical characteristics of warm asphalt concrete mixtures. World Science. 1(83).
URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8116
82. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. Матеріали LXXVIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. К.: НТУ, 2022. С. 120 – 121. DOI: 10.33744/2786-6459-2022-78.
83. Савенко В.Я., Ілляш С.І., Мудриченко А.Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. *Збірник Дороги і мости. Розділ «Будівництво та цивільна інженерія»*, К.: ДП «ДерждорНДІ», 2022. – Вип. № 25, С. 087 – 099. DOI: 10.36100/dorogimosti2022.25.087.
84. ДСТУ EN 45501:2017 Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів.
85. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови.
86. ДСТУ 7275:2012 Пакети з полімерних та комбінованих матеріалів. Загальні технічні умови.
87. В. З. Аладьєв. Основи програмування в Maple. Таллінн, 2006. 301 с. [Рос.].

88. Нечаєв, В.П. Теорія планування експерименту: навч. посіб./ В.П. Нечаєв, Т.М. Берідзе, В.В. Кононенко, Н.В. Рябушенко, О.М. Брадул – Київ: Кондор, 2005.
89. Грушко І. М., Сіденко В. М. Основи наукових досліджень. Х.: Вища школа, 1983. 224 с. [Рос.].
90. Адлер Ю. П. Введення у планування експерименту. М: Металургія, 1968. 155. [Рос.].
91. Теорія планування експериментів: Виконання розрахунково-графічної роботи.
URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/e80b3665-5324-4155-a675-a1f0a11f9bdb/content>
92. Конспект лекцій з курсу «Планування і обробка результатів експерименту». Л. А. Назаренко. – Харків., 2018. – 163 с.
93. Основи наукових досліджень: Навчальний посібник./ Ю. С. Грищук. Харків: НТУ «ХП», 2008. 232 с.
94. Брайд Й. Нелінійне оцінювання параметрів. В. С. Дуженко, Є. С. Фоміної. За ред. В. Г. Горського. М: Статистика.
95. Баран С.А., Мозговий В.В., Куцман О.М., Боровик І.І. Особливості проектування нежорстких дорожніх одягів із застосуванням армованих асфальтобетонних шарів для автомобільних доріг // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С. 294-302.
96. ДСТУ EN 12697-22:2018 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 22. Колійність (EN 12697-22:2003+A1:2007, IDT).
97. ДСТУ EN 13108-1:2018 Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Частина 1. Асфальтобетон (EN 13108-1:2016, IDT).
98. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Дослідження стійкості до утворення колії теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з використанням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму з додаванням регенованого асфальтобетону. *Збірник Дороги і мости. Розділ «Будівництво*

та цивільна інженерія», К.: ДП «ДерждорНДІ», 2023. – Вип. № 27, С. 121 – 129. DOI: 10.36100/dorogimosti2023.27.121.

99. Economic and environmental aspects of warm mix asphalt mixtures: A comparative analysis Transp. Res. Part D. Transp. Environ. (2022).

URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.077>

100. Hassan, M. (2010). Evaluation of the environmental and economic impacts of warm-mix asphalt using life-cycle assessment. International Journal of Construction Education and Research, 238–250.

URL: <https://doi.org/10.1080/15578771.2010.507619>

101. Mohammad, L. N., Hassan, M. M., Vallabhu, B., & Kabir, M. S. (2015). Louisiana's experience with WMA technologies: Mechanistic, environmental, and economic analysis. Journal of Materials in Civil Engineering, 04014185.

URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001143](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001143)

102. Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Sharifi, M., Hosseinpour, S., Notarnicola, B., Tassielli, G., & Renzulli, P. A. (2017). Application of multi-objective genetic algorithms for optimization of energy, economics and environmental life cycle assessment in oilseed production. Journal of Cleaner Production, 804–815. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.075>.

103. Nagapurkar, P., & Smith, J. D. (2019). Techno-economic optimization and environmental life cycle assessment (LCA) of microgrids located in the US using genetic algorithm. Energy Conversion and Management, 272–291.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.11.072>

104. Almeida-Costa, A., & Benta, A. (2016). Economic and environmental impact study of warm mix asphalt compared to hot mix asphalt. Journal of Cleaner Production, 2308–2317.

105. X. Yang, Z. You, D. Perram, D. Hand, Z. Ahmed, W. Wei, S. Luo. Emission analysis of recycled tire rubber modified asphalt in hot and warm mix conditions. J. Hazard. Mater., 365 (2019), pp. 942-951.

DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.11.080

106. A. Almusawi, B. Sengoz, D.K. Ozdemir, A. Topal. Economic and environmental impacts of utilizing lower production temperatures for different bitumen samples in a batch plant Case Stud. Constr. Mater., 16 (2022), Article e00987.
DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e00987
107. F. Frigio, A. Stimilli, A. Virgili, F. Canestrari. Performance assessment of in plant produced warm recycled mixtures for open-graded wearing courses. Transp. Res. Rec. (2017). DOI: 10.3141/2633-04
108. Stimilli A., Frigio F., Cardone F., Canestrari F. Performance of warm recycled mixtures in field trial sections. Proceedings of BCRRA 2017, June 28–30, Athens, Greece. DOI: 10.1201/9781315100333
109. M. Guo, H. Liu, Y. Jiao, L. Mo, Y. Tan, D. Wang, M. Liang. Effect of WMA-RAP technology on pavement performance of asphalt mixture: a state-of-the-art review. J. Clean. Prod., 266 (2020), Article 121704.
DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121704.
110. H.Y. Yu, Z. Leng, Z.J. Dong, Z. Tan, F. Guo, J. Ya. Workability and mechanical property characterization of asphalt rubber mixtures modified with various warm mix asphalt additives. Constr. Build. Mater., 175 (2018), pp. 392-401.
DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.218
111. J. Nithinchary; Bhuvana Priya Dhandapani; Ramya Sri Mullapudi. Application of warm mix technology - design and performance characteristics: Review and way forward. Constr. Build. Mater.
DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.134915.
112. ДСТУ Б Д.2.2-27:2016 «Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Автомобільні дороги (Збірник 27)».
113. ДСТУ Б Д.2.7-1:2012 «Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин та механізмів».
114. СОУ 42.1-37641918-034:2018 «Дорожні машини та механізми. Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин і механізмів»
115. СОУ 42.1-37641918-035:2018 «Автомобільні дороги. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи»

116. ДСТУ-Н Б Д.1.1-6:2013 «Настанова щодо розроблення ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи»
117. ДСТУ EN 12697-35:2019 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 35. Лабораторне змішування (EN 12697-35:2016, IDT)
118. ДСТУ 8959:2019 Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон дорожні на основі бітумів, модифікованих полімерами. Технічні умови
119. ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови
120. ДСТУ 9116:2021 Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови
121. ДСТУ 9133:2021 Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані комплексами добавок. Технічні умови
122. ДСТУ EN 14023:2023 Бітум та бітумні в'язучі. Структура технічних вимог до бітумів, модифікованих полімером (EN 14023:2010, IDT)
123. ДСТУ Б В.2.7-305:2015 Суміші бітумомінеральні дорожні. Загальні технічні умови
124. СОУ 42.1-37641918-114:2014 Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон, модифіковані природними бітумами. Технічні умови
125. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні.
126. СОУ 42.1-37641918-098:2017 Автомобільні дороги. Норми часу на ремонтно-будівельні роботи
127. СОУ 42.1-37641918-085:2018 Автомобільні дороги. Правила визначення вартості робіт з поточного ремонту та експлуатаційного утримання
128. ДСТУ Б В.2.7-305:2015 Суміші бітумомінеральні дорожні. Загальні технічні умови
129. СОУ 42.1-37641918-114:2014 Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон, модифіковані природними бітумами. Технічні умови

130. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні.

131. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань.

132. СОУ 45.2-00018112-036:2009. Бітуми та бітумополімери рідкі. Технічні умови.

133. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я, Стасюк Т.О. Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування теплих асфальтобетонних сумішей для улаштування шарів дорожнього одягу Вісник Національного транспортного університету. Випуск 55. Київ, 2023. С. 240 – 246.

URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-240-246>.

134. ТР 03450778/44583855-001:2023. Технологічний регламент на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму та асфальтобетонних сумішей на основі бітумів, модифікованих полімерами, на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant». Київ, 2023. 52 с.

135. ТР 03450778/44583855-002:2023. Технологічний регламент на виробництво холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних бітомомінеральних дорожніх на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant». Київ, 2023. 45 с.

136. Мудриченко А.Я. Оптимізація вмісту енергозберігаючої добавки, асфальтобетонної крихти та температурного режиму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей. *II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2023. С. 15-16. DOI: 10.36100/conference2023.01.001.*

ДОДАТОК А
КАЛЬКУЛЯЦІЯ ТРУДОВИХ ВИТРАТ НА ВИРОБЛЕННЯ 100 т
АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ НА АБЗ

Таблиця А.1 – Калькуляція трудових витрат на вироблення 100 т АБС, АБС_{СБ}, або АБС_{БМП} на АБЗ

Ч.ч	Обґрунтування	Найменування робіт	Склад ланки	Одиниця виміру	Обсяг	Витрати на одиницю виміру		Витрати на обсяг	
						люд.год	маш.год	люд.год	маш.год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	СОУ 42.1-37641918-098, 8.2, табл. 8.2, ч.ч.1	Наповнення бітумних котлів з бітумовозу. Насос.	Асфальтобетонник-варник 3 роз. - 1 люд. Машиніст насосної установки 2 роз - 1 люд.	100 т	6,28	0,23 0,23	0,23	1,44 1,44	1,44
2	СОУ 42.1-37641918-098, 8.4 табл. 8.4	Випарювання води із бітуму. Розігрівання бітуму до температури 150 °С в бітумних котлах. Котли бітумні, місткістю 30 м³.	Апаратник зневоднення бітуму 4 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-варник 3 роз. - 1 люд.	1 т	6,28	1,40 1,40	1,40	8,79 8,79	8,79
3	СОУ 42.1-37641918-098, 8.5, табл. 8.5, ч.ч.1	Розігрівання бітуму до робочої температури 170 °С та перемішування вмісту котла. Котли бітумні, місткістю 30 м³ з жаровими трубами.	Апаратник зневоднення бітуму 4 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-варник 3 роз. - 1 люд.	100 т	6,28	0,55 0,55	0,55	3,45 3,45	3,45
4	СОУ 42.1-37641918-098, 8.2, табл.8.2, ч.ч.2	Перекачування готового бітуму насосом в розподільвач. Насос.	Асфальтобетонник-варник 3 роз. - 1 люд. Машиніст насосної установки 2 роз - 1 люд.	100 т	6,28	0,14 0,14	0,14	0,87 0,87	0,87
5	СОУ 42.1-37641918-098, 8.6, табл.8.6	Підготовка асфальтобетонної установки до роботи АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel»	Машиніст установки 7 роз. - 1 люд. Помічник машиніста 6 роз. - 1 люд. Машиніст газодувної маш. 5 роз. - 1 люд. Грохотник 3 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-варник 5 роз. - 1 люд. Електрослюсар 5 роз. - 1 люд.	1 підготовка	0,6	3,20	0,64	1,92	0,38

Кінець таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	СОУ 42.1-37641918-098, 9.3, табл.9.4, ч.ч.23	Завантаження кам'яних матеріалів (щебінь фр. (5 – 10) мм) в живильники установки навантажувачем іноземного виробництва з переміщенням на відстань до 20 м. Навантажувач LIUGONG 856 (219 кВт)	Водій навантажувача 6 роз. - 1 люд.	100 м ³	0,59	2,76	2,76	1,63	1,63
7	СОУ 42.1-37641918-098, 8.7.2, табл. 8., ч.ч.3	Вироблення та випуск дрібнозернистої асфальтобетонної суміші на асфальтобетонному заводі. АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel»	Машиніст установки 7 роз. - 1 люд. Помічник машиніста 6 роз. - 1 люд. Машиніст газодувної маш. 5 роз. - 1 люд. Грохотник 3 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-варник 5 роз. - 1 люд. Електрослюсар 5 роз. - 1 люд.	100 т	1	4,32	0,54	4,32	0,54
8	СОУ 42.1-37641918-098, 11.1, табл.11.1	Очищення бітумних котлів (30 м ³)	Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд. 2 роз. - 1 люд.	1 м ³ осаду	0,32	3,40 3,40		0,10 0,10	
Разом:								37,17	17,1

Техніко-економічні показники для усередненого вироблення 100 т АБС, АБС_{СБ}, або АБС_{БМП} на АБЗ (паспортна продуктивність виробництва – 200 т/год):

- витрати праці – 4,64 люд.днів;
- потреба в машинах – 2,13 маш.змін;
- виробіток на 1 робітника – 8,33 т.

Таблиця А.2 – Калькуляція трудових витрат на вироблення 100 т ЩМАС на АБЗ

Ч.ч	Обґрунтування	Найменування робіт	Склад ланки	Одиниця виміру	Обсяг	Витрати на одиницю виміру		Витрати на обсяг	
						люд.год	маш.год	люд.год	маш.год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	СОУ 42.1-37641918-098, 8.2, табл. 8.2, ч.ч.1	Наповнення бітумних котлів з бітумовозу. Насос.	Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд. Машиніст насосної установки 2 роз - 1 люд.	100 т	6,28	0,23 0,23	0,23	1,44 1,44	1,44
2	СОУ 42.1-37641918-098, 8.4 табл. 8.4	Випарювання води із бітуму. Розігрівання бітуму до температури 150 °С в бітумних котлах. Котли бітумні, місткістю 30 м³.	Апаратник зневоднення бітуму 4 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд.	1 т	6,28	1,40 1,40	1,40	8,79 8,79	8,79
3	СОУ 42.1-37641918-098, 8.5, табл. 8.5, ч.ч.1	Розігрівання бітуму до робочої температури 170 °С та перемішування вмісту котла. Котли бітумні, місткістю 30 м³ з жаровими трубами.	Апаратник зневоднення бітуму 4 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд.	100 т	6,28	0,55 0,55	0,55	3,45 3,45	3,45
4	СОУ 42.1-37641918-098, 8.2, табл.8.2, ч.ч.2	Перекачування готового бітуму насосом в розподілювач. Насос.	Асфальтобетонник-варильник 3 роз. - 1 люд. Машиніст насосної установки 2 роз - 1 люд.	100 т	6,28	0,14 0,14	0,14	0,87 0,87	0,87
5	СОУ 42.1-37641918-098, 8.6, табл.8.6	Підготовка асфальтобетонної установки до роботи АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel»	Машиніст установки 7 роз. - 1 люд. Помічник машиніста 6 роз. - 1 люд. Машиніст газодувної маш. 5 роз. - 1 люд. Грохотник 3 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-вар. 5 роз. - 1 люд. Електрослюсар 5 роз. - 1 люд.	1 підготовка	0,6	3,20	0,64	1,92	0,38

Кінець таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	СОУ 42.1-37641918-098, 9.3, табл.9.4, ч.ч.23	Завантаження кам'яних матеріалів (щебінь фр. (5-10) мм) в живильники установки навантажувачем іноземного виробництва з переміщенням на відстань до 20 м. Навантажувач LIUGONG 856 (220 кВт)	Водій навантажувача 6 роз. - 1 люд.	100 м ³	0,59	2,76	2,76	1,63	1,63
7	СОУ 42.1-37641918-098, 8.7.2, табл. 8.8, ч.ч.3	Вироблення та випуск щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші на асфальтобетонному заводі. АБЗ «ASTEС Portable 6' Double Barrel»	Машиніст установки 7 роз. - 1 люд. Помічник машиніста 6 роз. - 1 люд. Машиніст газодувної маш. 5 роз. - 1 люд. Грохотник 3 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-вар. 5 роз. - 1 люд. Електрослюсар 5 роз. - 1 люд.	100 т	1	4,80	0,60	4,80	0,60
8	СОУ 42.1-37641918-098, 11.1, табл.11.1	Очищення бітумних котлів (30 м ³)	Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд. 2 роз. - 1 люд.	1 м ³ осаду	0,32	3,40 3,40		0,10 0,10	
Разом:								37,65	17,16

Техніко-економічні показники для усередненого вироблення 100 т ЩМАС на АБЗ (паспортна продуктивність виробництва – 200 т/год):

- витрати праці – 4,70 люд.днів;
- потреба в машинах – 2,14 маш.змін;
- виробіток на 1 робітника – 8,33 т.

Таблиця А.3 – Калькуляція трудових витрат на вироблення 100 т АСХ на АБЗ

Ч.ч	Обґрунтування	Найменування робіт	Склад ланки	Одиниця виміру	Обсяг	Витрати на одиницю виміру		Витрати на обсяг	
						люд.год	маш.год	люд.год	маш.год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	СОУ 42.1-37641918-098, 8.2, табл. 8.2, ч.ч.1	Наповнення бітумних котлів з бітумовозу. Насос.	Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд. Машиніст насосної установки 2 роз - 1 люд.	т	5,21	0,23 0,23	0,23	2,4	1,20
2	СОУ 42.1-37641918-098, 8.4 табл. 8.4	Випарювання води із бітуму. Розігрів бітуму до температури 150 °С в бітумних котлах. Котли бітумні, місткістю 30 м³.	Апаратник зневоднення бітуму 4 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд.	т	5,21	1,40 1,40	1,40	14,58	7,29
3	СОУ 42.1-37641918-098, 8.5, табл. 8.5, ч.ч.1	Розігрівання бітуму до робочої температури 170 °С та перемішування вмісту котла. Котли бітумні, місткістю 30 м³ з жаровими трубами.	Апаратник зневоднення бітуму 4 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд.	т	5,21	0,55 0,55	0,55	5,74	2,87
4	СОУ 42.1-37641918-098, 8.2, табл.8.2, ч.ч.2	Перекачування готового бітуму насосом в розподілювач. Насос.	Асфальтобетонник-варильник 3 роз. - 1 люд. Машиніст насосної установки 2 роз - 1 люд.	т	5,21	0,14 0,14	0,14	1,46	0,73
5	СОУ 42.1-37641918-098, 8.6, табл.8.6	Підготовка асфальтобетонної установки до роботи АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel»	Машиніст установки 7 роз. - 1 люд. Помічник машиніста 6 роз. - 1 люд. Машиніст газодувної маш. 5 роз. - 1 люд. Грохотник 3 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-вар. 5 роз. - 1 люд. Електрослюсар 5 роз. - 1 люд.	1 підготовка	0,6	3,20	0,64	1,92	0,38

Кінець таблиці А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	СОУ 42.1-37641918-098, 9.3, табл.9.4, ч.ч.23	Навантажування сипких матеріалів агрегати живлення та транспортні засоби одноківшевими фронтальними навантажувачами з переміщенням до 20 м. Навантажувач LIUGONG 856 (220 кВт)	Водій навантажувача 6 роз. - 1 люд.	100 м ³	0,59	1,75	1,75	1,03	1,03
7	СОУ 42.1-37641918-098, 8.7.2, табл. 8.8, ч.ч.3	Вироблення та випуск дрібнозернистої асфальтобетонної суміші на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel»	Машиніст установки 7 роз. - 1 люд. Помічник машиніста 6 роз. - 1 люд. Машиніст газодувної маш. 5 роз. - 1 люд. Грохотник 3 роз. - 1 люд. Асфальтобетонник-вар. 5 роз. - 1 люд. Електрослюсар 5 роз. - 1 люд.	100 т	1	6,48	0,81	6,48	0,81
8	СОУ 42.1-37641918-098, 11.1, табл.11.1	Очищення бітумних котлів (30 м ³)	Асфальтобетонник-вар. 3 роз. - 1 люд. 2 роз. - 1 люд.	1 м ³ осаду	0,32	3,40 3,40		0,2	
Разом:								33,81	14,31

Техніко-економічні показники для усередненого вироблення 100 т АСХ на АБЗ (паспортна продуктивність виробництва – 200 т/год).

- витрати праці – 4,23 люд.днів;
- потреба в машинах – 1,79 маш.змін;
- виробіток на 1 робітника – 8,33 т.

ДОДАТОК Б
РОЗРАХУНОК РЕСУРСНИХ КОШТОРИСНИХ НОРМ

РЕСУРСНА ЕЛЕМЕНТНА КОШТОРИСНА НОРМА на приготування асфальтобетонної суміші на асфальтобетонному заводі продуктивністю 240 т

Склад робіт: 1. Підготовка асфальтобетонного заводу до роботи. 2. Керування установкою в процесі роботи. 3. Обслуговування газодувної установки і контроль температури просушування матеріалів. 4. Контроль за роботою конвеєрів і дозаторів. 5. Видача готової суміші в транспортні засоби. 6. Вимірювання температури суміші і оформлення на неї паспорта. 7. Технічне обслуговування агрегатів протягом зміни.

Вимірник: 100 т суміші

Приготування асфальтобетонної суміші на асфальтобетонному заводі «продуктивністю 240 т (при роботі на дизельному паливі):

- 1 крупнозерниста суміш
- 2 дрібнозерниста суміш
- 3 щебенево-мастикова суміш

Таблиця 1 – Норми з 1 по 3

Шифр ресурсу	Найменування ресурсу	Одиниця виміру	1	2	3
1	2	3	4	5	6
1	Витрати труда робітників-будівельників	люд.год	1,87	1,94	2,15
2	Середній розряд робіт		5,0	5,0	5,0
3	Витрати труда машиністів	люд.год	3,20	3,30	3,65
	М а ш и н и і м е х а н і з м и				
270-0080	Завод асфальтобетонний, продуктивність 240 т/год (при роботі на дизельному паливі)	маш.год	0,64	0,66	0,73
	М а т е р і а л и				
1421-9451	Щебінь із природного каменю для будівельних робіт фракції 5-20 мм, марка М1000 і більше	м ³	-	П	-
1421-9453	Щебінь із природного каменю для будівельних робіт фракції 20-40 мм, марка М1000 і більше	м ³	П	-	-
1421-9450	Щебінь із природного каменю для будівельних робіт фракції 5-10 мм, марка М1000 і більше	м ³	-	-	П
1421-10634	Пісок природний, рядовий	м ³	П	П	П
1421-9940	Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей активований	т	П	П	П
За проектом	Бітум в'язкий	т	П	П	П
За проектом	Добавки адгезійні	т	-	-	П
За проектом	Добавки модифікуючі	т	-	-	П
За проектом	Добавки стабілізуючі	т	-	-	П
За проектом	Добавки енергозберігаючі	т	П	П	П
За проектом	Асфальтобетонна крихта	т	П	П	П

Примітка. Витрати складових матеріалів для приготування асфальтобетонних сумішей різного виду, групи та типу можуть змінюватись згідно лабораторного підбору в межах, передбачених нормативними документами, без зміни інших нормативних показників.

Ресурсні кошторисні норми експлуатації машин та механізмів (витрати ресурсів на 1 маш.год експлуатації)

Шифр машин та механізмів	Найменування машин та механізмів	Середній розряд ланки робітників	Витрати труда машиністів	Енергоносії		Мастильні матеріали,	Витрати труда робітників, зайнятих на ремонті
				Дизельне паливо	Електроенергія		
			люд.год	кг	кВт/год	кг	люд.год
1	2	3	4	6	7	8	9
270-0080	Завод асфальтобетонний, продуктивність 240 т/год (при роботі на дизельному паливі)	5,5	5	1321,92	231,16	1,18	0,88

Усереднені показники вартості експлуатації будівельних машин та механізмів

Шифр машин та механізмів	Найменування машин та механізмів	Вартість експлуатації 1 маш.год, грн	У тому числі							
			Заробітна плата машиністів	Амортизаційні відрахування	Частини, що швидко спрацьовуються	Дизельне паливо	Електроенергія	Мастильні матеріали	Ремонт та ТО	
									Всього	у тому числі заробітна плата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
270-0080	Завод асфальтобетонний, продуктивність 240 т/год (при роботі на дизельному паливі)	38685,02	408,35	3160,94	29,59	29410,25	1686,59	165,94	145,95	71,87

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
Завод асфальтобетонний, продуктивність 240 т/год
(при роботі на дизельному паливі)

Ресурсна кошторисна норма експлуатації

Ресурсна кошторисна норма експлуатації на 1 маш.год експлуатації містить такі показники:

- середній розряд ланки робітників, зайнятих на керуванні та обслуговуванні заводу;
- витрати труда машиністів, зайнятих на керуванні та обслуговуванні заводу (людино-година);
- витрати дизельного пального;
- електроенергії;
- витрати труда робітників, зайнятих на ремонті та технічному обслуговуванні (людино-година).

Проектування складу виконавців і визначення середнього розряду

Склад виконавців визначений постачальником устаткування. До роботи допускається тільки спеціально навчений персонал. Роботи ведуться комплексною ланкою виконавців у складі:

1.Склад ланки робітників, зайнятих на керуванні та обслуговуванні заводу:	
Машиніст змішувача асфальтобетону	1
Помічник машиніста	2
Машиніст газодувної машини	1
Грохотник	1
Електрослюсар будівельний	1
Налагоджувальник приладів, апаратури та систем автоматичного контролю регулювання та керування (налагоджувальник КВП та автоматики)	1
Слюсар з виготовлення деталей та вузлів систем вентиляції, кондиціонування повітря, пневмотранспорту і аспірації	1
Електрогазозварник	1
Налагоджувальник будівельних машин	1

Обов'язки *машиніста змішувача асфальтобетону*:

- керування стаціонарними змішувачами асфальтобетону різних марок з продуктивністю понад 40 готової суміші за годину, що працюють на рідкому та газовому паливі й обладнані мікропроцесорною системою керування.
- керування та контроль за технологічним процесом приготування асфальтобетонних сумішей різних типів і марок, використовуючи програму мікропроцесорної системи керування. Здійснює регулювання агрегатів вагового дозування матеріалів для забезпечення роботи в автоматичному режимі згідно з циклограмами приготування сумішей. участь у щозмінному технічному обслуговуванні змішувача;
 - встановлення причин виникнення несправностей;
 - участь у неплановому ремонті;
 - участь у плановому запобіжному ремонті;
 - заповнення первинних документів роботи заводу.

Обов'язки *машиніста газодувних машин*:

- обслуговує машини різноманітних типів для стискання і переміщення технологічних газів і повітря, турбогазодувки, повітрогазодувки тощо з подаванням понад 75000 м.куб./год стежить і регулює їх роботу;
 - пускає і зупиняє машини;
 - контролює тиск і температуру газу, змащування тертьових частин, охолодження масла;

- контролює справність комунікацій, контрольно-вимірювальних приладів; в
- виконує огляд і поточний ремонт устаткування, визначає і усуває несправності в машинах, комунікаціях, арматурі і контрольно-вимірювальних приладах під керівництвом машиніста вищої кваліфікації;
- бере участь у планово-запобіжному ремонті устаткування;
- веде облік витрат електроенергії і мастильних матеріалів;
- веде записи у виробничому журналі.

Обов'язки *грохотника*:

- керує процесом мокрого та сухого грохочення (розсіву) матеріалу на грохотах (ситах) продуктивністю від 100 до 500 м³/год;
- стежить за роботою грохотів, сит іншого устаткування в зоні обслуговування, рівномірним подаванням та розподілом матеріалу на грохоти, сита, живильники, конвеєри, проходженням підрешітного та надрешітного матеріалу в наступне устаткування;
- вилучає сторонні предмети. Контролює якість грохочення. Виконує роботи пов'язані з розвантаженням щебеневих матеріалів із залізничних вагонів, слідкує за роботою площадкових та циліндричних грохотів, забезпечує розподіл щебеню за фракціями;
- регулює роботу грохотів, сит, живильників та подавання води у разі мокрого грохочення. Відбирає проби для аналізу;
- здійснює чищення та змащування частин устаткування, що труться. Встановлює, чистить та замінює сита та колосники. Виявляє та усуває несправності у роботі устаткування, що обслуговується. Бере участь у його ремонті.

Обов'язки *налагоджувальника будівельних машин*:

- виконує налагоджування, регулювання, технічне обслуговування, поточний ремонт гідравлічного, пневматичного, механічного, електричного й електронного устаткування;
- демонтаж і монтаж агрегатів, вузлів і систем керування складних і особливо складних будівельних машин та діагностичні роботи щодо оцінки їх технічного стану. Визначає стан деталей з метою їх можливого повторного використання;
- визначає причини зруйнування деталей. Складає рекламації. Виконує технічні розрахунки, необхідні під час налагоджування та регулювання будівельних машин;
- забезпечує раціональний режим витрачання паливно-мастильних матеріалів.

Обов'язки *налагоджувальника КВП та автоматики* :

- Виконує передмонтажне перевіряння, автономне та комплексне налагоджування апаратури автоматичного контролю, регулювання й керування III категорії складності асфальтобетонного заводу.

Обов'язки *слюсаря з виготовлення деталей та вузлів систем вентиляції, кондиціонування повітря, пневмотранспорту й аспірації*:

- виконує особливо складні роботи під час виготовлення деталей і вузлів систем вентиляції, кондиціонування повітря й аспірації асфальтобетонного заводу.

Обов'язки *електрогазоварника*:

- виконання ручних дугових та плазмових зварювань відповідальних складних будівельних і технологічних конструкцій асфальтобетонного заводу;
- кисневе та плазмове прямолінійне і горизонтальне різання особливо складних деталей з різних марок сталей, кольорових металів і сплавів за розміткою вручну з підготовкою кромки під зварювання, в тому числі з застосуванням спеціальних флюсів;
- автоматичне зварювання особливо відповідальних будівельних і технологічних конструкцій, що працюють під динамічними та вібраційними навантаженнями;
- термообробка газовим пальником зварних стисків після зварювання;
- читання креслень особливо складних зварних просторових металоконструкцій.

Обов'язки *електрослюсаря будівельного*:

- виконує складні роботи під час виготовлення та монтажу електричних конструкцій асфальтобетонного заводу.

Згідно діючому тарифно-кваліфікаційному довіднику проектуємо ланку виконавців в складі:

Найменування професій	Розряд	Кількість	Обґрунтування
Машиніст змішувача асфальтобетону	7	1	ДКХП вип.64 доп. до розд.1.2,3,3 №12
Помічник машиніста змішувача асфальтобетону	6	2	ДКХП вип.64 доп. №3 до розд.2 №12
Машиніст газодувної машини	5	1	ДКХП вип.1 №78
Грохотник	3	1	ДКХП вип.64 доп.№4 до розд. 4 № 5
Електрослюсар будівельний	5	1	ДКХП вип. 64 розділ 2 №22
Налагоджувальник приладів, апаратури та систем автоматичного контролю регулювання та керування (налагоджувальник КВП та автоматики)	6	1	ДКХП вип.64 розд.2 № 155
Слюсар з виготовлення деталей та вузлів систем вентиляції, кондиціювання повітря, пневмотранспорту й аспірації	6	1	ДКХП вип.64розд.2 №172
Електрогазозварник	6	1	ДКХП вип.64 доп. № 2,3,4 до розд.2 №3
Налагоджувальник будівельних машин	6	1	ДКХП, вип. 64, разд.2, № 154

Визначення середнього розряду ланки робітників, зайнятих на керуванні і обслуговуванні приведено в розрахунку 1.

Розрахунок 1

Середній розряд ланки робітників, зайнятих на керуванні, технічному обслуговуванні та ремонті

1.Склад ланки робітників, зайнятих на керуванні, технічному обслуговуванні та ремонті:		
Машиніст змішувача асфальтобетону	7 розряд	1
Помічник машиніста змішувача асфальтобетону	6 розряд	2
Машиніст газодувної машини	5 розряд	1
Грохотник	3 розряд	1
Електрослюсар будівельний	5 розряд	1
Налагоджувальник приладів, апаратури та систем автоматичного контролю регулювання та керування (налагоджувальник КВП та автоматики)	6 розряд	1
Слюсар з виготовлення деталей та вузлів систем вентиляції, кондиціювання повітря, пневмотранспорту й аспірації	6 розряд	1
Електрогазозварник	6 розряд	1
Налагоджувальник будівельних машин	6 розряд	1

Визначення середнього розряду ланки робітників, зайнятих на керуванні, технічному обслуговуванні та ремонті

Середній розряд робітників, зайнятих на керуванні, технічному обслуговуванні та ремонті визначається за формулою:

$$P_C = P_H + \frac{K_C - K_H}{K_B - K_H},$$

де P_c - середній розряд ланки робітників, зайнятих на керуванні, технічному обслуговуванні та ремонті;

P_H - розряд, який відповідає нижчому мікрозрядному коефіцієнту по відношенню до середнього мікрозрядного коефіцієнта;

K_c - середній мікрозрядний коефіцієнт;

K_H, K_B - вищий та нижчий мікрозрядні коефіцієнти по відношенню до середнього мікрозрядного коефіцієнта.

Відповідно до наведеного нижче повного розрахунку середнього розряду ланки робітників, зайнятих на керуванні, технічному обслуговуванні та ремонті, $P_c = 5,5$:

$$P_c = 5 + \frac{1,677 - 1,542}{1,797 - 1,542} = 5,5$$

Розподіл трудомісткості робітників, зайнятих на керуванні, ремонті, технічному обслуговуванні та перебазуванні машини

Професія	Розряд	Кіл-сть	Трудомісткість (ВТі) люд.год				
			Керування	ТО	Ремонт	Перебаз	Всього
Машиніст змішувача асфальтобетону	7	1	1,00				1,000
	6			0,081	0,0392		0,1202
Помічник машиніста	6	2	2,00				2,000
	5			0,081	0,0392		0,1202
Машиніст газодувної машини	5	1	1,00				1,000
	4			0,081	0,0392		0,1202
Грохотник	3	1	1,00				1,000
Електрослюсар будівельний	5	1		0,081	0,0392		0,1202
Налагоджувальник КВП та автоматики	6	1		0,081	0,0392		0,1202
Слюсар з виготовлення деталей та вузлів систем вентиляції	6	1		0,081	0,0392		0,1202
Електрогазозварник	6	1			0,0392		0,0392
Налагоджувальник будівельних машин	6	1		0,081	0,0392		0,1202
Всього ($\sum VTi$)		10	5,00	0,567	0,313	-	5,8806

Професії і розряди робітників прийняті згідно Довідника кваліфікаційних характеристик професій робітників, випуск 64 розд. 1,2,3,4 .

Розряди робітників в	Мікрозрядні коефіцієнти	Витрати праці робітників за розрядами Вті, люд.год	Добуток гр.2хгр.3 $\sum (Vti \times Ki)$	Середній мікрозрядний коефіцієнт (Kc) $\sum гр.4 \div \sum гр.3$	Середній розряд робіт
1	2	3	4	5	6
3	1,186	1,000	1,186		
4	1,339	0,1202	0,161		
5	1,542	1,2404	1,913		
6	1,797	2,520	4,528		
7	2,075	1,000	2,075		
Разом:		5,8806	9,863	1,677	5,5

Розрахунок 2
визначення дизельного палива

Витрати дизельного палива визначаються за формулою:

$$q = q_o \cdot K_{дв} \cdot K_{дн} \cdot K_{пз} \cdot K_p,$$

де $q_o = 1920$ л/мото-год – згідно даних лічильника;

$K_{дв}$ - коефіцієнт використання двигуна в часі – 0,81 (згідно СОУ 42.1-37641918-094:2017 Норми витрат паливно-мастильних матеріалів на роботу машин і механізмів);
 $K_{дн}$ - коефіцієнт використання двигуна по потужності (врахований у фактичних даних витрати палива);

$K = 0,85$ т/м³ – щільність дизельного палива.

$$q = 1920 \cdot 0,85 \cdot 0,81 = 1321,92 \text{ кг/маш.год}$$

Розрахунок 3
витрат електроенергії

Норми витрат електроенергії визначаються за формулою:

$$E_E = 1,1 \times ПП \times K_{п} \times K_{ч},$$

$ПП$ - сумарна паспортна потужність електродвигунів (355,4 кВт);

$K_{п}$ – коефіцієнт використання електродвигунів по потужності, $K_{п} = 0,73$ (згідно СОУ 42.1-37641918-094:2017 Норми витрат паливно-мастильних матеріалів на роботу машин і механізмів);

$K_{ч}$ – коефіцієнт використання двигунів за часом, $K_{ч} = 0,81$ (згідно СОУ 42.1-37641918-094:2017 Норми витрат паливно-мастильних матеріалів на роботу машин і механізмів);

$$E_E = 1,1 \times 355,4 \times 0,73 \times 0,81 = 231,16 \text{ кВт/маш.год}$$

Розрахунок 4
витрат мастильних матеріалів

Витрати мастильних матеріалів розраховуються виходячи з місткості системи термомастила:

$$B_M = \frac{1000 \times 0,9}{760} = 1,18 \text{ кг/маш.год}$$

Розрахунок 5
витрат на ремонт та технічне обслуговування

Питома трудомісткість проведення технічних обслуговувань і ремонтів визначається за формулою:

$$B_{TP} = \frac{TP_{TO-1} \times N_{TO-1} + TP_{TO-2} \times N_{TO-2} + TP_{PP} \times N_{PP} + TP_K \times K_{п} + \frac{TP_{CO} \times N_{CO}}{T}}{Ц_p},$$

B_{TP} повний ремонтний цикл технічної експлуатації машини, мото-год;

TP_{TO-1} трудомісткість ТО – 1;

N_{TO-1} кількість ТО – 1 в повному ремонтному циклі;

TP_{TO-2} трудомісткість ТО – 2;

N_{TO-2} кількість ТО – 2 в повному ремонтному циклі;

TP_{PP} трудомісткість поточного ремонту;

N_{PP} кількість поточних ремонтів в повному ремонтному циклі;

TP_{KP} трудомісткість капітального ремонту;

$Ц_p$ повний ремонтний цикл;

- TP_{CO} трудомісткість СО;
 N_{CO} кількість СО в повному ремонтному циклі;
 T річний режим роботи машини;
 K_{II} коефіцієнт внутрішньозмінного використання машин, який враховує перехід від середньорічного напрацювання машин в мото-годинах до середньорічного напрацювання в машино-годинах (річний режим роботи), і становить - 0,591 (згідно СОУ 42.1-37641918-094:2017 Норми витрат паливно-мастильних матеріалів на роботу машин і механізмів $K_q = 0,81$ і $K_M = 0,73$).

Показники періодичності і трудомісткості проведення технічних обслуговувань і ремонтів та склад ремонтного циклу для асфальтобетонного заводу Ammann UniGlobe 240, продуктивність 240 т/год приймаємо на основі даних по ремонтному циклу згідно з СОУ 42.1-37641918-041:2015 «Дорожні машини та механізми. Правила технічної експлуатації» (асфальтозмішувальні установки, табл. Д.26). Враховуючи високу конструктивну складність даного обладнання трудомісткість виконання робіт з технічного обслуговування, діагностування і ремонту асфальтобетонного заводу іноземного виробництва може бути прийнята з коефіцієнтом рівним 2.

Склад ремонтного циклу

Найменування видів ремонту та технічного обслуговування	Періодичність, мото-год.	Кількість у ремонтному циклі	Трудомісткість одного ТО і ремонту, люд.год
ТО-1	50	16	12
ТО-2	250	3	100
СО	-	-	-
ПР	1000	1	1000

$$B_{TP} = \frac{16 \times 12 + 3 \times 100 + 1 \times 1000}{1000} \times 0,591 = 0,88 \text{ люд.год/маш.год}$$

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**Завод асфальтобетонний, продуктивність 240 т/год
(при роботі на дизельному паливі)**

Розрахунок вартості експлуатації на 1 маш.год експлуатації

Вартість експлуатації на 1 маш.год експлуатації містить такі показники:

- заробітна плата машиністів, зайнятих на керуванні та обслуговуванні машини (людино-година);
- амортизаційні відрахування;
- вартість матеріальних ресурсів на:
 - заміну частин, що швидко спрацьовуються;
 - ремонт і технічне обслуговування;
- вартість енергоносіїв (електроенергії, паливно-мастильних матеріалів тощо);
- витрати труда робітників, зайнятих на ремонті та технічному обслуговуванні (людино-година).

Заробітна плата машиністів, зайнятих на керуванні

Заробітна плата машиністів, зайнятих на керуванні, розраховується на підставі нормативних трудовитрат і вартості людино-години, яка відповідає середньому нормативному розряду ланки.

$$ЗП_M = T_{HM} \times B_{\text{люд-год}},$$

де $ЗП_M$ - заробітна плата машиністів, зайнятих на керуванні будівельними машинами і механізмами, грн;

T_{HM} - нормативні трудовитрати машиністів, зайнятих на керуванні будівельними машинами і механізмами, люд.год;

$B_{\text{люд-год}}$ - вартість людино-години відповідного середнього нормативного розряду ланки, (прийнято виходячи з рекомендованого рівня середньомісячної заробітної плати на одного працівника 10628,39 грн), грн.

$$ЗП_M = 5 \times 81,67 = 408,35 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості амортизаційних відрахувань

Термін експлуатації машини для асфальтобетонного заводу становить 16 років згідно з СОУ 45.2-37641918-064:2019 «Терміни експлуатації дорожніх машин та механізмів та норми їх амортизації» Таблиця А.2.

Розрахунок вартості амортизаційних відрахувань визначається за формулою:

$$B_A = \frac{C_A}{N_A \times E_{PT}},$$

де C_A - первісна балансова вартість, 38437000 грн;

N_A - термін експлуатації, 16 років;

E_{PT} - середній річний термін експлуатації машин, 760 маш.год.

$$B = \frac{38437000}{16 \times 760} = 3160,94 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості заміни частин, що швидко зношуються

Вартість заміни частин приймається на основі фактичних даних за попередній рік і становить 29,59 грн на одну машино-годину.

Розрахунок витрат на дизельне паливо

Витрати на дизельне паливо визначаються за формулою:

$$B_{\Pi} = H_{\Pi} \times \Pi_{\Pi},$$

де B_{Π} - витрати на дизельне паливо, грн;

H_{Π} - розрахована норма витрат дизельне паливо, кг;

Π_{Π} - ціна дизельного палива згідно з усередненими показниками вартості експлуатації машин станом на 01.12.2020 року, грн/кг:

$$B_{\Pi} = 1175,04 \times 25,03 = 29410,25 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на електроенергію

Витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$B_E = H_E \times \Pi_E,$$

де B_E - витрати на електроенергію, грн;

H_E - розрахункова норма витрати електроенергії, кВт/год;

Π_E - ціна електроенергії згідно з усередненими показниками вартості експлуатації машин станом на 01.12.2020 року, грн/кг:

$$B_E = 231,16 \times 7,2962 = 1686,59 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на мастильні матеріали

Витрати на мастильні матеріали визначаються за формулою:

$$B_{MM} = H_{MM} \times C_M,$$

де B_{MM} - витрати на мастильні матеріали, грн;

H_{MM} - норма витрат мастильних матеріалів за попередніми розрахунками (ресурсна кошторисна норма експлуатації), кг;

C_M - ціна мастильних матеріалів, прийнята згідно з усередненими показниками вартості експлуатації машин станом на 01.12.2020 року, грн/кг.

$$B_{MM} = 1,18 \times 140,63 = 165,94 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на ремонт та технічне обслуговування

Витрати на ремонт та технічне обслуговування будівельних машин і механізмів визначається за формулою:

$$B_{PT} = 3П_{PT} + B_{MP},$$

де B_{PT} - витрати на ремонт та технічне обслуговування машин і механізмів, грн;

$3П_{PT}$ - заробітна плата робітників, зайнятих на ремонті та технічному обслуговуванні, грн;

B_{MP} - вартість матеріальних ресурсів, що використовуються при проведенні ремонту і технічного обслуговування, грн.

$$3П_{PT} = 0,88 \times 81,67 = 71,87 \text{ грн}$$

Вартість матеріальних ресурсів, що використовуються при проведенні ремонту і технічному обслуговуванні, прийнята згідно з фактичними даними, наданими за минулий рік. Отже:

$$B_{PT} = 71,87 + 74,08 = 145,95 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості експлуатації асфальтобетонного заводу Аттманн UniGlobe 240, продуктивність 240 т/год (при роботі на дизельному паливі)

Вартість експлуатації включає в себе такі складові:

- амортизаційні відрахування;
- заробітна плата машиністів, зайнятих на керуванні машиною;
- кошти на покриття витрат на заміну частин, що швидко зношуються;
- витрати на дизельного палива;
- витрати електроенергії;
- витрати на ремонт та технічне обслуговування.

Отже,

$$B_{EKC} = 408,35 + 3160,94 + 29,59 + 29410,25 + 1686,59 + 165,94 + 145,95 = 35007,61 \text{ грн}$$

Виготовлення теплих асфальтобетонних сумішей
(найменування об'єкта дорожніх робіт та послуг)

Локальний кошторисний розрахунок на дорожні роботи та послуги № 02-001

на _____
(найменування робіт/послуг та витрат, найменування лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість 194.558 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.01745 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 1.219 тис. грн.
Середній розряд робіт 3.2 розряд

Складений в поточних цінах станом на 21 липня 2023 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтуван- ня (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одини- ця виміру	Кіль- кість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслугову- ванням машин	
					Всього	Експлу- атації машин	Всього	заробіт- ної плати	Експлуа- тації машин	тих, що обслуговують машини	
					заробіт- ної плати	в тому числі заробіт- ної плати				на одини- цю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ЕН27-38-9	Приготування дрібнозернистої асфальтобетонної суміші на заводах продуктивність 240 т/год	100 т суміші	1.0	176871.27	21000.00	176871	1219	21000	17.4500	17.45
					1218.53	-			-	-	-
	ТСО-3-2	Витрати труда робітників-будівельників розряду 3,2	люд-год	17.45	69.83		1218.53	1218.53			
				17.45							
	КБМ203-854	Навантажувачі одноковшеві, вантажопідйомність 7 т	маш-г	1.12	-	-	-		-	-	-
				1.12					-	-	-
	КБМ207-149	Бульдозери, потужність 79 кВт [108 к.с.]	маш-г	0.63	-	-	-		-	-	-
				0.63					-	-	-
	КБМ212-65	Пароутворювачі причіпні	маш-г	1.91	-	-	-		-	-	-
				1.91					-	-	-
	КБМ212-1001	Котли бітумні стаціонарні, місткість 15000 л	маш-г	9.85	-	-	-		-	-	-
				9.85					-	-	-
	КБМ212-3001	Завод асфальтобетонний, продуктивність 240 т/год	маш-г	0.6	35000.00	35000.00	21000.00		21000.00	-	-
				0.6					-	-	-
	КБМ219-101	Насосні станції електричні стаціонарні, подача 50 м3/год, напір 50 м	маш-г	2.21	-	-	-		-	-	-
				2.21					-	-	-
	П2016-8020	Бітуми нафтові дорожні БНД 60/90, БНД 90/130	т	4.83	19000.00		91770.00				
				4.83							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	C1421-9451	Щебінь із природного каменю для будівельних робіт, фракція 5-20 мм, марка М1000 і більше	м3	23.4	1660.87		38864.36					
	23.4											
	C1421-9941	Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей неактивований	т	7.46	1744.28		13012.33					
	7.46											
	C1421-10634	Пісок природний, рядовий	м3	13.8	797.54		11006.05					
	13.8											
	Разом прямих витрат по кошторису							176871	1219	21000	17.45	
												-
	Разом прямі витрати						грн.	176871				
	в тому числі:											
	вартість матеріалів, виробів і комплектів						грн.	154652				
	всього заробітна плата						грн.		1219			
	Загальновиробничі витрати						грн.	17687				
Всього по кошторису						грн.	194558					
Кошторисна трудомісткість						люд-г		17.45				
Кошторисна заробітна плата						грн.		1219				

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірів

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

ДОДАТОК В
РОЗРОБЛЕНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕГЛАМЕНТИ НА ВИРОБНИЦТВО
АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АБЗ1»
(ТОВ «АБЗ1»)**

**Державне підприємство
«Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»
(ДП «ДерждорНД»)**

ЗАТВЕРДЖЕНО
Директор ТОВ «АБЗ1»



Р.Ю. Михайлевич
2023 р.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ
на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових
асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням
спіненого бітуму та асфальтобетонних сумішей на основі бітумів,
модифікованих полімерами, на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant»
(ТОВ «АБЗ1», м. Київ, вул. 9-го Травня, 49)

ТР 03450778/44583855-001:2023

ПОГОДЖЕНО

Завідувач виробництва
ТОВ «АБЗ1»


«21» 03 2023 р.

І.Ю. Кірічевський

РОЗРОБЛЕНО

Перший заступник директора
ДП «ДерждорНД»



А.О. Цинка
2023 р.

Термін дії регламенту до «28» березня 2027 р.
Київ 2023

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ

**на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму та асфальтобетонних сумішей на основі бітумів, модифікованих полімерами, на АБЗ з використанням асфальтозмішувальної установки «ASTEC Portable 5' Double Barrel Plant»
(ТОВ «АБЗ1», м. Київ, вул. 9-го Травня, 49)**

ТР 03450778/44583855-001:2023

Начальник відділу нормоконтролю


М. М. Стулій

Науковий керівник, завідувач відділу технологій дорожніх робіт Центру дорожніх матеріалів та технологій


В.А. Зеленовський

Відповідальний виконавець, заступник завідувача відділу технологій дорожніх робіт Центру дорожніх матеріалів та технологій


А. Я. Мудриченко

Виконавець, завідувач лабораторії жорсткого дорожнього одягу відділу технологій дорожніх робіт Центру дорожніх матеріалів та технологій


О.В. Кривобок

Товариство з обмеженою відповідальністю «АБЗ1»
(ТОВ «АБЗ1»)

Державне підприємство
«Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»
(ДП «ДерждорНД»)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Директор ТОВ «АБЗ1»



Р.Ю. Михайлевич
2023 р.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ
на виробництво холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних
бітомінеральних дорожніх на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant»
(ТОВ «АБЗ1», м. Київ, вул. 9-го Травня, 49)

ТР 03450778/44583855-002:2023

ПОГОДЖЕНО

Начальник виробництва
ТОВ «АБЗ1»

 І.Ю. Кірічевський
«28» 03 2023 р.

РОЗРОБЛЕНО

Перший заступник директора
ДП «ДерждорНД»



А.О. Цинка
2023 р.

Термін дії регламенту до «28» березня 2027 р.
Київ 2023

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ
на виробництво холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних
бітомінеральних дорожніх на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant»
(ТОВ «АБЗ1», м. Київ, вул. 9-го Травня, 49)

ТР 03450778/44583855-002:2023

Начальник відділу нормоконтролю



М. М. Стулій

Науковий керівник, завідувач відділу
технологій дорожніх робіт Центру дорожніх
матеріалів та технологій



В. А. Зеленовський

Відповідальний виконавець, заступник
завідувача відділу технологій дорожніх робіт
Центру дорожніх матеріалів та технологій



А. Я. Мудриченко

Виконавець, завідувач лабораторії жорсткого
дорожнього одягу відділу технологій дорожніх
робіт Центру дорожніх матеріалів та
технологій



О. В. Кривобок

ДОДАТОК Г
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК



**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО
ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ
ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ**

вул. Фізкультури, 9, м. Київ, 03150
Тел.: (044) 287-24-05, 287-24-49, факс: 287-42-18
E-mail: info@restoration.gov.ua
<https://www.restoration.gov.ua>
Код ЄДРПОУ 37641918

№ _____

На № _____ від _____

Мудриченку Анатолію Ярославовичу,
mudrychenko@gmail.com

ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Мудриченка Анатолія Ярославовича**

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи Мудриченка А.Я. було впроваджено в Державному агентстві автомобільних доріг України (Укравтодор) при виконанні науково-дослідної роботи згідно з договором № 50-17 від 21 серпня 2017 року «Провести дослідження та розробити рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів» (№ державної реєстрації 0117U001941). В результаті виконання роботи були розроблені:

— Р В.2.7-37641918-894:2018 Рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів.

Заступник Голови з питань
цифрового розвитку, цифрових
трансформацій і цифровізації

Роман КОМЕНДАНТ

Тетяна КРИВОБОК



Вихідний документ
(Підписано кваліфікованим електронним підписом)

Сертифікат [6FA97849F1B2570D04000000307F0000C9F90200](#)
Підписувач [Комендант Роман Анатолійович](#)
Дійсний з [05.02.2024 15:43:00](#) по [05.02.2025 15:43:00](#)

Державне агентство відновлення та
розвитку інфраструктури України



1352/5/13-01/14
від 02.04.2024



ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Мудриченка Анатолія Ярославовича

Результати дисертаційної роботи Мудриченка А.Я. за темою «Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використанням теплих сумішей» було впроваджено в навчальний процес, а саме при викладанні дисципліни «Технологія будівництва доріг», «Сучасні технології будівництва доріг», а також в дипломному проєктуванні для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

Перший проректор,
професор



Олександр ГРИЩУК

Декан факультету
транспортного будівництва,
професор

Андрій БУБЕЛА



ТОВ «БУДІВЕЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ІНФРАСТРУКТУРА ІНВЕСТ»

03049, м. Київ, вул. Генерала Геннадія Воробйова, буд. 10
+38 (097) 428-5678

bp@infrastructure-invest.com; www.infrastructure-invest.com

ТОВ «БП «Інфраструктура Інвест», код ЄДРПОУ 42829880, IBAN UA82 305299 00000 26006010109998 у банку АТ КБ "Приватбанк"

м. Київ

№29 від 10 квітня 2024 року

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок дисертаційної роботи

Мудриченка Анатолія Ярославовича

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційного дослідження Мудриченка А.Я. щодо удосконалення технології улаштування дорожніх покриттів з використанням теплих асфальтобетонних сумішей отримали практичне використання під час улаштування асфальтобетонних покриттів ТОВ «БП «ІНФРАСТРУКТУРА ІНВЕСТ».

Директор ТОВ
«БП «ІНФРАСТРУКТУРА ІНВЕСТ»



Ярошевич А.А.

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АБЗІ»

01042, м. Київ, вул. Джона Маккейна, буд. 40

тел. +380675346063, e-mail: abz1post@gmail.com

Платник ПДВ та податку на прибуток на загальних підставах

Код ЄДРПОУ 44583855

вих. № 12-Д від 09 квітня 2024 року**ДОВІДКА****про впровадження наукових розробок дисертаційної роботи
Мудриченка Анатолія Ярославовича**

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційних досліджень Мудриченка А.Я. щодо застосування технологій теплового асфальтобетону були використані в діяльності ТОВ «АБЗІ» при встановленні раціональних значень часу та дальності транспортування асфальтобетонних сумішей, виготовлених за знижених, у порівнянні з традиційними гарячими технологіями виготовлення асфальтобетонних сумішей.

Директор ТОВ «АБЗІ»



Р.Ю. Михайлевич

ДОДАТОК Д
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Savenko V., Honcharenko V., Illiash S., Mudrychenko A., Balashov I. Substantiating the choice and optimizing the parameters for the technology of hot recycling of asphalt concrete road coating. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 3/1 (105). P. 76-8. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203947>.

2. Mudrychenko A., Savenko V., Illiash S., Honcharenko V., Determination of the weight of factors affecting the physical and mechanical characteristics of warm asphalt concrete mixtures. World Science. 1(83), 2024. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8116.

Статті у фахових виданнях України:

3. Мудриченко А.Я., Савенко В.Я. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використання теплих сумішей. Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Київ: НТУ, 2018. – Вип. № 103, С. 075 – 083. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/103/75.pdf

4. Савенко В.Я., Ілляш С.І., Мудриченко А.Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. Збірник Дороги і мости. Розділ «Будівництво та цивільна інженерія», Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2022. – Вип. № 25, С. 087 – 099. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.087>.

5. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Дослідження стійкості до утворення колії теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з використанням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму з додаванням регенованого асфальтобетону. Збірник Дороги і мости. Розділ «Будівництво та цивільна

інженерія», К.: ДП «ДерждорНДІ», 2023. – Вип. № 27, С. 121 – 129. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.121>.

6. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я, Стасюк Т.О. Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування теплих асфальтобетонних сумішей для улаштування шарів дорожнього одягу. Вісник НТУ. Київ, 2023 Вип. 55. С. 240 – 246. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-240-246>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Технологія приготування теплих асфальтобетонних сумішей на в'язкому бітумі. Матеріали LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ: НТУ, 2017. С. 134 – 135. URL: <https://drive.google.com/file/d/1GyK8BsnakngvopAADyWv3l4kEA22yhEs/view>

8. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів з використання теплих сумішей. Матеріали LXVI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ: НТУ, 2020. С. 142. URL: <https://drive.google.com/file/d/1Hlm8obLCicsOsLCs-eL7N7VIKdi7PWlv/view>

9. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. Матеріали LXXVIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. К.: НТУ, 2022. С. 120 – 121. <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2022-78>.

10. Савенко В.Я., Мудриченко А.Я. Теплі асфальтобетонні суміші як компонент енергозбереження у дорожньому будівництві. Матеріали LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2023 р. Київ. С. 154 – 155. URL: <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2023-79>.

11. Мудриченко А.Я. Використання теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму в дорожньому будівництві. I Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2022. С. 5-6. URL: <https://doi.org/10.36100/conference2022.01>.

12. Мудриченко А.Я. Оптимізація вмісту енергозберігаючої добавки, асфальтобетонної крихти та температурного режиму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей. II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених дорожньої галузі «МОЛОДЬ – ДРАЙВЕРИ ВІДНОВЛЕННЯ КРАЇНИ» НТУ, ДП «ДерждорНДІ», ХНАДУ. Київ, 2023. С. 15-16. URL: <https://doi.org/10.36100/conference2023.01.001>.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. ТР 03450778/44583855-001:2023 Технологічний регламент на виробництво асфальтобетонних сумішей, щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, асфальтобетонних сумішей з використанням спіненого бітуму та асфальтобетонних сумішей на основі бітумів, модифікованих полімерами, на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant». Київ, 2023. 52 с.

14. ТР 03450778/44583855-002:2023 Технологічний регламент на виробництво холодних асфальтобетонних сумішей та сумішей холодних бітомомінеральних дорожніх на АБЗ «ASTEC Portable 6' Double Barrel Plant». Київ, 2023. 45 с.