

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЖЕЛТОБРЮХ АНТОН ДМИТРОВИЧ

УДК 625.85

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ ДОРОЖНІХ
ПОКРИТТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДРЕНУЮЧИХ АСФАЛЬТОВИХ
БЕТОНІВ

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ: 192 – БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ: АРХІТЕКТУРА ТА БУДІВНИЦТВО

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ А. Д. Желтобрюх

Науковий керівник –

Савенко Вячеслав Якович

доктор технічних наук, професор

Усиченко Олена Юріївна

кандидат технічних наук, доцент

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Желторбюх А. Д. Удосконалення технології улаштування дорожніх покриттів з використанням дренаючих асфальтових бетонів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю: 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». – Національний транспортний університет, Київ, 2023.

Підготовлена дисертація – це актуальне наукове дослідження в сфері дорожнього будівництва шляхом впровадження нового виду та технології асфальтобетонних покриттів для розвитку дорожньої галузі в цілому та підвищення рівня безпеки автомобільних доріг України. У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, що полягає в удосконаленні такої технолоії, як дренаючі асфальтобетони для покриття автомобільних доріг.

На першому етапі проведено аналіз закордонного існуючого досвіду використання дренаючого асфальтобетону, умов його проєктування, застосування, визначенно переваги та недоліки таких асфальтобетонів та виконано теоретичні дослідження процесу формування асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор.

На другому етапі визначено узагальнені теоретичні передумови найбільш вагомих параметрів, які впливають на впровадження та проєктування дренаючих асфальтобетонів. На підставі аналізу, встановлено, що головним метеорологічним чинником, що визначає стан доріг не тільки в осінньо-зимово-весняний, але й у літній періоди, є опади, їхня інтенсивність, тривалість і повторюваність. і їх розподіл по місяцях, клімат на території держави. Тому було охарактеризовано режим зливових опадів території України. Визначено, що саме на основі даних щодо максимальної кількості зливових опадів впродовж року, і розраховують необхідну товщину дренаючого асфальтобетону. Тому, було розроблено метод розрахунку необхідної товщини таких асфальтобетонів та за

досконалим аналізом Довідника № 4 розроблено карту України за інтенсивністю зливових опадів та розроблено карту поділу території України за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону.

На підставі цього, використання даної карти дозволить виконувати вибір виду дренуючого асфальтобетону, область його раціонального використання та розрахувати його необхідну товщину. Умовно територію України за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону було розділено на три райони. На практиці це допоможе визначити відповідно для кожного району рекомендовані марки бітуму та забезпечити достатню колієстійсть відповідно до обраного району.

Враховуючи районування за максимальною інтенсивністю зливових опадів та за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону, це дасть змогу встановити вимоги до бітуму та розробити конструкції дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг. Оскільки шар дренуючого асфальтобетону влаштовують як шар зносу, то для нього не встановлюють розрахункові характеристики.

Встановлено, що порівняно зі щільним, дренуючий асфальтобетон на всіх стадіях (виробництво, укладання, ущільнення, експлуатація) вимагає вкрай високої уваги та жорстких вимог до щебеневих матеріалів. При цьому, обов'язково треба використовувати бітум, модифікований полімером та обов'язкове використання стабілізуючої добавки. Тому, було проведено випробування всіх основних складових матеріалів перед початком експериментів з підбору складу.

Експериментальними дослідженнями підбору складу дренуючих асфальтобетонів встановлено, що його потрібно виконувати таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, для видалення води з поверхні дороги. Це досягається за рахунок особливостей зернового складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь.

Відповідно до об'ємних підходів основною вимогою є забезпечення потрібного вмісту пустот в ущільнених зразках. Як наслідок, було

вироблено асфальтобетонні суміші з максимальним розміром зерен 16 мм, 11 мм та 8 мм та вмістом бітуму від 5,5 % до 7,5 %. Ущільнення зразків повинно виконуватись методом Маршала.

Згідно випробувань матеріалів для приготування, підбору складу суміші та дотримання технологій та температур, було досягнуто необхідного вмісту пор при встановлених мінімальних та максимальних кількостях бітумного в'язучого та встановленого процесу ущільнення зразків.

Завдяки визначеного показника структури дренуючого асфальтобетону – заповнення пор мінерального остова бітумом, який в подальшому можливо використовувати як умову підбору складу суміші або як параметри для оцінки суміші після укладання та ущільнення, було визначено, що для зразка ДАБ-16 відсоток пор, заповнених в'язучим, у мінеральному заповнювачі становить 28 %, для ДАБ-11 – 34 %, для ДАБ-8 – 39 % (при мінімальному вмісту бітумного в'язучого), що свідчить про досягнення достатнього забезпечення дренажної здатності дренуючого асфальтобетону при оптимальній залишковій пористості. Для повного розуміння роботи дренуючого асфальтобетону було визначено показник вертикальної та горизонтальної проникності. Отриманих в наслідок проведених досліджень величин проникності більше чим достатньо, щоб відвести воду в найбільш насичений місяць по значенню максимальної кількості зливових опадів, або пікових короточасних злив для вдалого підвищення безпекових експлуатаційних характеристик автомобільних доріг.

Результати досліджень впроваджено при розробленні державних нормативних документів, зокрема рекомендацій та ДСТУ EN.

Одним із результатів наукових досліджень є розроблені рекомендації щодо виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону.

Розроблені рекомендації встановлюють:

- класифікацію за найбільшим максимальним номінальним розміром зерен заповнювача;

- вимоги до матеріалів, складу ДАБС та властивостей ДАБ та ДАБС;
- рекомендовані параметри з виробництва, влаштування та ущільнення дренуючих асфальтобетонних сумішей;
- вимоги до контролю якості та правил приймання робіт.

На підставі техніко-економічних розрахунків підтверджена доцільність застосування технології влаштування покриттів з дренуючого асфальтобетону. Враховуючі, що дренуючий асфальтобетон – це спеціальний вид асфальтобетонів, і тому звичайно потребує особливої уваги на всіх етапах і певних технічно складних підходів до себе, але в порівнянні з ЩМА, завдяки визначеним вагомим економічним факторам таким як матеріали (зерновий склад) (до 10 %), вартість суміші (до 6 %), витрата матеріалу для влаштування (до 30 %), підвищення експлуатаційних характеристик, що призведе до вирогідного зменшення соціально-економічних втрат від зменшення дорожньо-транспортних пригод, і саме головне – до зниження смертельних випадків внаслідок ДТП, під час впровадження технології ДАБ в Україні, з'являється можливість покривати витрати пов'язані з потребою спеціального зимового утримування і заходів з очищення пор, які можуть засмітитися за роки експлуатування.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожній одяг, дорожнє покриття, асфальтобетонна суміш, шар зносу, дренуючий асфальтобетон, відкриті пори, пористість, проникність

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. A.D. Zheltobriukh, V.Y. Savenko. (2023) Technical and economic justification of the feasibility of using the technology of laying covers from draining asphalt concrete. World Science. 3(81). doi:10.31435/rsglobal_ws/30092023/8052

Статті у фахових виданнях:

2. Желтобрюх Антон, Копинець Іван, Соколов Олексій. Особливості проектування та використання дренажного асфальтобетону // Дороги і мости. – 2020. – Вип. 21. – С. 168-176. DOI: [10.36100/dorogimosti2020.21.168](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168)

3. Іван Копинець, Антон Желтобрюх. Результати експериментів із підбору складу дренажного асфальтобетону. Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 25. С. 40–47. DOI: [10.36100/dorogimosti2022.25.040](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.040)

4. Желтобрюх А.Д., Савенко В.Я. Метод розрахунку необхідної товщини покриття із дренажного асфальтобетону *Вісник Національного транспортного університету*. Випуск 55. Київ, 2023. С. 115 – 123. DOI: [10.33744/2308-6645-2023-1-55-115-123](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-115-123)

5. Усиченко О.Ю., Желтобрюх А.Д. Встановлення технічних вимог щодо дренажного асфальтобетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2023. Вип. 113.1. С. 83-98. DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-083-097

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Антон Желтобрюх, Павло Малій, Тетяна Одегова, Олександр Тимошук. Використання асфальтобетонних сумішей на основі спіненого

бітуму // Дороги і мости. – 2019. – Вип. 19-20. – С. 94-106.
DOI: [10.36100/dorogimosti2019.19.094](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.094)

7. Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Дослідження можливості використання дробильних матеріалів виробництва ВАТ «Нікопольський завод феросплавів» під час будівництва доріг. *Автошляховик України*. № 4. 2020. DOI: [10.33868/0365-8392-2020-4-264-52-58](https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-4-264-52-58)

8. Іван Копинець, Олексій Соколов, Антон Желтобрюх, Василь Головченко. Огляд методів проектування складу асфальтобетонних сумішей. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 81–90.
DOI: [10.36100/dorogimosti2023.27.081](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.081)

9. Іван Копинець, Олексій Соколов, Антон Желтобрюх, Василь Головченко. Залежність об'ємних властивостей асфальтобетону від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та методу ущільнення. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 91–110.
DOI: [10.36100/dorogimosti2023.27.091](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.091)

10. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2021 р. Київ*. С. 97.

11. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2021 р. Київ*. С. 101.

12. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVIII Наукова конференція*

професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2022 р. Київ. С. 91.

13. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д., Удосконалення технології влаштування покриття з використанням дренуючих асфальтобетонів. *LXXVIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2023 р. Київ. С. 169.*

14. Желтобрюх А.Д. Особливості проєктування складу дренуючого асфальтобетону. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022. С. 49-52.*

15. Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Установлення впливу методу ущільнення на об'ємні властивості асфальтобетонів. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022. С. 76-79.*

16. Антон Желтобрюх, Іван Копинець. Пропозиції щодо установлення національних вимог до зернового складу асфальтобетонних сумішей згідно з ДСТУ EN 13108-1. *Матеріали міжнародної конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проєктуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво»». Київ, НТУ, 2022. С. 71-74.*

ABSTRACT

Zheltorbyukh A. D. Improvement of the technology of laying road surfaces using draining asphalt concrete. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty: 192 - "Construction and civil engineering". – National Transport University, Kyiv, 2023.

The prepared dissertation is an actual scientific study in the field of road construction by introducing a new type and technology of asphalt concrete coatings for the development of the road industry as a whole and increasing the level of road safety in Ukraine. An important scientific and practical task is solved in the dissertation work, which consists in improving such a technology as draining asphalt concrete for covering roads.

At the first stage, an analysis of existing foreign experience in the use of drainable asphalt concrete, conditions of its design, application, advantages and disadvantages of such asphalt concrete was determined, and theoretical studies of the process of forming asphalt concrete with a structure of interconnected open pores were performed.

At the second stage, the generalized theoretical prerequisites of the most important parameters that affect the introduction and design of draining asphalt concrete are defined. Based on the analysis, it was established that the main meteorological factor that determines the condition of roads not only in autumn-winter-spring, but also in summer is precipitation, its intensity, duration and recurrence. and their distribution by month, climate on the territory of the state. Therefore, the regime of torrential precipitation in the territory of Ukraine was characterized. It was determined that on the basis of the data on the maximum amount of rainfall during the year, and the required thickness of the draining asphalt concrete is calculated. Therefore, a method of calculating the required thickness of such asphalt concrete was developed, and based on a thorough

analysis of Handbook No. 4, a map of Ukraine was developed based on the intensity of heavy rainfall and a map of the territory of Ukraine was developed according to the climatic conditions of the drainage asphalt concrete.

Based on this, the use of this map will allow you to choose the type of draining asphalt concrete, the area of its rational use, and calculate its required thickness. Conditionally, the territory of Ukraine was divided into three regions according to the climatic conditions of the work of draining asphalt concrete. In practice, this will help determine the recommended bitumen brands for each area and ensure sufficient rut resistance according to the selected area.

Taking into account the zoning according to the maximum intensity of torrential precipitation and the climatic conditions of the drainage asphalt concrete, it will make it possible to establish the requirements for bitumen and develop road wear designs for different categories of highways. Since the layer of draining asphalt concrete is arranged as a wear layer, the design characteristics are not established for it.

It was established that compared to dense, draining asphalt concrete at all stages (production, laying, compaction, operation) requires extremely high attention and strict requirements for crushed stone materials. supplements Therefore, all the main component materials were tested before starting the composition selection experiments.

Experimental studies of the selection of the composition of draining asphalt concrete have established that it should be performed in such a way that the compacted material has a system of connected pores to remove water from the road surface. This is achieved due to the peculiarities of the grain composition of the mixture, the main part of which is single-fraction crushed stone.

According to volumetric approaches, the main requirement is to ensure the desired void content in compacted samples. As a result, asphalt concrete mixtures with a maximum grain size of 16 mm, 11 mm and 8 mm and a bitumen content of 5.5% to 7.5% were produced. Samples should be compacted using the Marshall method.

According to the tests of materials for preparation, selection of the composition of the mixture and compliance with technologies and temperatures, the required pore content was achieved with the set minimum and maximum amounts of bituminous binder and the set process of compacting the samples.

Due to the determined indicator of the structure of draining asphalt concrete - the filling of the pores of the mineral core with bitumen, which can later be used as a condition for selecting the composition of the mixture or as parameters for evaluating the mixture after laying and compaction, it was determined that for the DAB-16 sample, the percentage of pores filled with binder, in the mineral aggregate is 28%, for DAB-11 – 34%, for DAB-8 – 39% (with a minimum content of bituminous binder), which indicates the achievement of sufficient drainage capacity of draining asphalt concrete with optimal residual porosity. To fully understand the performance of draining asphalt concrete, the indicator of vertical and horizontal permeability was determined. The permeability values obtained as a result of the conducted research are more than enough to divert water in the most saturated month in terms of the maximum amount of heavy rainfall, or peak short-term downpours to successfully increase the safe operational characteristics of highways.

Research results were implemented in the development of state regulatory documents, in particular recommendations and DSTU EN.

One of the results of scientific research is the development of recommendations for the production and installation of drainable asphalt concrete.

The developed recommendations establish:

- classification by the largest maximum nominal size of aggregate grains;
- requirements for materials, composition of DAB and properties of DAB and DAB;
- recommended parameters for the production, arrangement and compaction of draining asphalt concrete mixtures;
- requirements for quality control and work acceptance rules.

On the basis of technical and economic calculations, the expediency of using the technology of arranging covers from draining asphalt concrete has been confirmed. Taking into account that draining asphalt concrete is a special type of asphalt concrete, and therefore, of course, requires special attention at all stages and certain technically complex approaches to itself, but in comparison with SHMA, due to certain important economic factors such as materials (grain composition) (up to 10%), the cost of the mixture (up to 6%), the consumption of material for installation (up to 30%), an increase in operational characteristics, which will lead to a beneficial reduction of socio-economic losses from a reduction in traffic accidents, and most importantly - to a decrease in fatalities due to road accidents , during the implementation of DAB technology in Ukraine, there is an opportunity to cover the costs associated with the need for special winter maintenance and measures to clean the pores, which may become clogged during the years of operation.

Keywords: highways, road pavement, road surface, asphalt concrete mixture, wear layer, draining asphalt concrete, open porous, porosity, permeability.

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. A.D. Zheltobriukh, V.Y. Savenko. (2023) Technical and economic justification of the feasibility of using the technology of laying covers from draining asphalt concrete. World Science. 3(81). doi:10.31435/rsglobal_ws/30092023/8052

Статті у фахових виданнях:

2. Желтобрюх Антон, Копинець Іван, Соколов Олексій. Особливості проєктування та використання дренажного асфальтобетону // Дороги і мости. – 2020. – Вип. 21. – С. 168-176. DOI: [10.36100/dorogimosti2020.21.168](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168)

3. Іван Копинець, Антон Желтобрюх. Результати експериментів із підбору складу дренажного асфальтобетону. Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 25. С. 40–47. DOI: [10.36100/dorogimosti2022.25.040](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.040)

4. Желтобрюх А.Д., Савенко В.Я. Метод розрахунку необхідної товщини покриття із дренажного асфальтобетону *Вісник Національного транспортного університету*. Випуск 55. 2023. С. 115 – 123. DOI: [10.33744/2308-6645-2023-1-55-115-123](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-115-123)

5. Усиченко О.Ю., Желтобрюх А.Д. Встановлення технічних вимог щодо дренажного асфальтобетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2023. Вип. 113.1. С. 83-98. DOI: [10.33744/0365-8171-2023-113.1-083-097](https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-113.1-083-097)

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Антон Желтобрюх, Павло Малій, Тетяна Одегова, Олександр Тимошук. Використання асфальтобетонних сумішей на основі спіненого бітуму // Дороги і мости. – 2019. – Вип. 19-20. – С. 94-106. DOI: [10.36100/dorogimosti2019.19.094](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.094)

7. Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Дослідження можливості використання дробильних матеріалів виробництва ВАТ «Нікопольський завод феросплавів» під час будівництва доріг. *Автошляховик України*. № 4. 2020. DOI: [10.33868/0365-8392-2020-4-264-52-58](https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-4-264-52-58)

8. Іван Копинець, Олексій Соколов, Антон Желтобрюх, Василь Головченко. Огляд методів проєктування складу асфальтобетонних сумішей. Дороги і мости. Київ, 2023. Вип. 27. С. 81–90. DOI: [10.36100/dorogimosti2023.27.081](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.081)

9. Іван Копинець, Олексій Соколов, Антон Желтобрюх, Василь Головченко. Залежність об'ємних властивостей асфальтобетону від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та методу ущільнення. Дороги і мости. Київ, 2023. Вип. 27. С. 91–110. DOI: [10.36100/dorogimosti2023.27.091](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.091)

10. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ*, 2021 р. Київ. С. 97.

11. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ*, 2021 р. Київ. С. 101.

12. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVIII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ*, 2022 р. Київ. С. 91.

13. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д., Удосконалення технології влаштування покриття з використанням дренуючих асфальтобетонів. *LXXVIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ*, 2023 р. Київ. С. 169.

14. Желтобрюх А.Д. Особливості проектування складу дренуючого асфальтобетону. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції*

"Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022. С. 49-52.

15. Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Установлення впливу методу ущільнення на об'ємні властивості асфальтобетонів. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022. С. 76-79.*

16. Антон Желтобрюх, Іван Копинець. Пропозиції щодо установлення національних вимог до зернового складу асфальтобетонних сумішей згідно з ДСТУ EN 13108-1. *Матеріали міжнародної конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проєктуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво»». Київ, НТУ, 2022. С. 71-74.*

ЗМІСТ

	С
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЩОДО ІСНУЮЧОГО ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ ТА УМОВ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ.....	26
1.1 Загальні відомості щодо дренуючого асфальтобетону.....	26
1.2 Проєктування складу дренуючих асфальтобетонних сумішей.....	33
1.3 Виробництво дренуючого асфальтобетону.....	46
1.4 Переваги та недоліки покриттів з дренуючих асфальтобетонів.....	50
1.5 Основні принципи проєктування конструкції нежорсткого дорожнього одягу.....	51
Висновки до розділу 1.....	61
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	63
2.1 Вплив природніх факторів на конструкцію автомобільних доріг.....	63
2.2 Характеристика режиму зливових опадів території України.....	71
2.2.1 Поняття про коефіцієнт зволоження території.....	75
2.2.2 Застосування довідникових даних для визначення інфільтрації вологи від атмосферних опадів.....	77
2.3 Метод розрахунку необхідної товщини покриття із дренуючого асфальтобетону.....	79
Висновки до розділу 2.....	87
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ ДЛЯ УЛАШТУВАННЯ ПОКРИТТЯ ДОРІГ	89
3.1 Методика досліджень	89
3.1.1 Вихідні матеріали.....	89
3.1.2 Склади матеріалів, що випробовували, та технології їх приготування	92
3.2 Результати лабораторних випробувань	104

3.3 Визначення кількості пор заповнених в'язучим у мінеральному заповнювачі.....	107
3.4 Визначення вертикальної та горизонтальної проникності дренуючого асфальтобетону.....	109
Висновки до розділу 3.....	122
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	125
4.1 Особливості проектування дренуючого асфальтобетону	125
4.1.1 Встановлення рекомендованих марок та вимог до бітумів за кліматичними районами роботи дренуючих асфальтобетонів та розроблені конструкції дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг.....	131
4.2 Рекомендації щодо виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону.....	134
4.2.1 Встановлення вимог до матеріалів, складу ДАБС та властивостей ДАБ та ДАБС.....	128
4.2.2 Встановлення рекомендованих параметрів з виробництва, влаштування та ущільнення дренуючих асфальтобетонних сумішей	139
4.2.3 Встановлення вимог до контролю якості та правил приймання робіт	143
4.3 Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування технології влаштування покриттів із дренуючого асфальтобетону	148
Висновки до розділу 4.....	164
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	166
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	170
ДОДАТОК А ТИПОВА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА УЛАШТУВАННЯ ШАРУ З ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ ТА ВАРІАНТИ КОНСТРУКЦІЙ ВОДОВІДВЕДЕННЯ	183
ДОДАТОК Б РОЗРОБЛЕНІ ДОКУМЕНТИ.....	187

ДОДАТОК В ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК.....	191
ДОДАТОК Г СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	195

ВСТУП

Актуальність роботи.

Дренуючі асфальтобетонні покриття представлені в світі, як альтернативна технологія керування зливовими опадами. Такі покриття відрізняються від традиційних щільних асфальтобетонних покриттів тим, що їх структура дозволяє рідинам вільно проходити через них, зменшуючи чи контролюючи кількість стоків із навколишньої середовища. За рахунок можливості пропуску зливових опадів та поверхневого стоку через конструкцію, такий вид покриття функціонує як додатковий засіб управління зливовими водами.

Загальні переваги дренуючих асфальтобетонних покриттів можуть включати як переваги для навколишнього середовища, так і для безпеки, включаючи покращення управління зливовими водами, поліпшений опір ковзанню, зменшення аквапланування, зменшення кількості бризок на водіїв і пішоходів, в тому числі і водяного пилу, а в результаті і видимості, безпеки, а також зниження шуму. У зв'язку з зростаючою необхідністю суттєвого підвищення безпеки руху, комфорту на автомобільних дорогах та екологічного забруднення довкілля від автомобільних доріг, в дисертації враховано зрушення парадигми, що розвивається в методах управління зливовими водами, переходу на європейські норми, впровадження нових технологій із застосуванням дренуючого асфальтобетонного покриття. Дисертаційні дослідження спрямовані на подолання не вирішених в Україні практичних задач застосування суттєвих переваг дренуючого асфальтобетонного покриття, за рахунок встановлення раціональних параметрів проєктування складу, накопичення даних, обґрунтування техніко-економічної доцільності та надання рекомендацій підрядникам та проєктним установам, які в подальшому будуть займатися проєктуванням та будівництвом конструкцій із застосуванням дренуючого асфальтобетону.

Одним із ключових питань щодо влаштування даного типу дорожнього покриття є склад асфальтобетонної суміші. Відсоток повітряних пустот, який напряду пов'язаний з ефективністю пропускної здатності покриття, є найважливішим компонентом суміші. Однак потрібен особливий підхід, щоб, в порівнянні з щільними та щебенево-мастиковими асфальтобетонами, отримати високий відсоток залишкової пористості при незначному погіршенні міцності та довговічності, особливо в холодному кліматі та досягти необхідної проникності залежно від зональності та кліматичних умов країни.

Тобто, для правильного підходу до впровадження такої технології в Україні потрібно виконати глибокий аналіз існуючого досвіду проектування дренажного асфальтобетону, оцінити нормативну базу світу, провести теоретичне та експериментальне обґрунтування можливості отримання дренажного асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор, яка дозволяє швидко відводити поверхневу воду та ефективно працювати в умовах України.

Виходячи з цього актуальність роботи полягає у вирішенні наступної науково-практичної задачі – підвищення рівня безпеки та експлуатаційних характеристик автомобільних доріг України за рахунок удосконалення технології влаштування покриття з використанням дренажних асфальтобетонів, що сприятиме розвитку дорожньої галузі України в цілому.

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

Дисертаційні дослідження виконані відповідно до планів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України:

– тема № 51-19 «Провести дослідження та розробити рекомендації з приготування асфальтобетонних сумішей та влаштування дорожнього

покриття із дренуючого асфальтобетону» (№ державної реєстрації 0119U101541);

– тема № 72-20 «Виконати аналіз та розробити національні стандарти щодо методів випробування асфальтобетонів з ідентичним ступенем відповідності до європейських норм серії EN 12697 (11 документів)» (№ державної реєстрації 0120U103244).

Мета і задачі дослідження. Мета даної роботи полягає у удосконаленні технології влаштування покриття з використанням дренуючих асфальтобетонів за рахунок отриманих раціональних параметрів при виробництві та проєктуванні сумішей;.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання:**

- провести аналіз існуючого закордонного досвіду застосування, проєктування та виготовлення дренуючого асфальтобетону та теоретичні дослідження процесу формування асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор;

- визначити узагальнені теоретичні передумови найбільш вагомих параметрів, які впливають на раціональні параметри проєктування дренуючих асфальтобетонів та розробити метод розрахунку необхідної товщини шару дренуючого асфальтобетону; розробити районування за умовами роботи дренуючого асфальтобетону на території України;

- провести експериментальні дослідження та виконати лабораторні випробування для отримання раціонального складу суміші, відповідних параметрів виготовлення та необхідних об'ємних та водопропускних характеристик дренуючого асфальтобетону із забезпеченням необхідного вмісту сполучних пор;

- на основі теоретичних досліджень та встановлених раціональних параметрів розробити практичні рекомендації щодо виробництва, влаштування та ущільнення дренуючих асфальтобетонів. Отримати дослідне виробниче впровадження отриманих результатів;

- обґрунтувати техніко-економічну доцільність застосування технології улаштування покриттів із дренуючих асфальтобетонів.

Об'єкт дослідження – є процес технології влаштування покриття з використанням дренуючих асфальтобетонів на автомобільних дорогах.

Предмет дослідження – технологія проектування та влаштування покриття з використанням дренуючих асфальтобетонів.

Методи дослідження: метод аналізу та порівняння, розрахунково-дослідний; експериментально-аналітичний, гідрологічний, економічна оцінка.

Наукова новизна отриманих результатів.

- вперше проведено детальні теоретичні дослідження процесу отримання асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор;

- вперше визначено теоретичні передумови найбільш вагомих параметрів, які впливають на впровадження та проектування дренуючих асфальтобетонів, що сприяло розробленню методу розрахунку необхідної товщини шару із дренуючого асфальтобетону; для встановлення раціональних областей використання та проектування розроблено районування за максимальною інтенсивністю зливових опадів та кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону;

- удосконалено методологію проектування складу та виготовлення дренуючого асфальтобетону, вперше згідно з європейськими методами запроєктовано дренуючий асфальтобетон із системою сполучених пор за різними методами ущільнювання, що дозволяє досягти необхідних параметрів пористості для достатнього вільного проходження води через зразок; отримано показник вертикальної та горизонтальної проникності;

- удосконалено технологію улаштування дорожнього покриття з використанням дренуючого асфальтобетону за рахунок визначених покращених безпекових експлуатаційних характеристик та встановлених раціональних параметрів проектування та виробництва суміші.

Практичне значення отриманих результатів полягає у практичному впровадженні нового виду асфальтобетонів для дорожнього покриття шляхом проведення аналітичного огляду та аналізу досвіду проєктування дренуючого асфальтобетону, умов його застосування; у встановленні етапів підбору раціонального складу суміші, можливості використання даної технології в умовах України, визначенні раціональних областей її використання, розробленні методики підбору складу та визначення основних характеристик дренуючого асфальтобетону на основі проведених експериментальних досліджень; розроблено метод, визначено водопрпускну здатність дренуючого асфальтобетону та встановлено залежність проникності від вмісту пор; розроблені рекомендації та проведено практичне впровадження щодо виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону; визначена економічна ефективність технології, що розглядається.

Матеріали досліджень були впроваджені в Державному агентстві відновлення та розвитку інфраструктури України при розробленні нормативних галузевих документів: Р В.2.7-37641918-919:2021 «Рекомендації щодо виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону», ДСТУ EN 12697-19:2021 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 19. Проникність зразка (EN 12697-19:2020, IDT)», ДСТУ EN 12697-40:2021 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 40. Дренажність влаштованого покриття (EN 12697-40:2020, IDT)» та у навчальному процесі, а саме при викладанні дисциплін «Технологія будівництва доріг», «Сучасні технології будівництва автомобільних доріг» та в дипломному проєктуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

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 проєктування та досвіду впровадження зазначеної технології закордоном. Вивчено та проаналізовано етапи підбору складу суміші, висвітлені вимоги до щебених матеріалів, гранулометричного складу суміші, вмісту в'язучого та стабілізуючих добавок. [2, 5, 8, 9, 10 – 14];

- проведено експериментальні дослідження з підбору зернового складу та вмісту бітуму в дренуючому асфальтобетоні. [3, 5, 13, 14];

- розроблено метод розрахунку необхідної товщини шару із дренуючого асфальтобетону в залежності від максимальної кількості зливових опадів на території України. Розроблено районування за максимальною інтенсивністю зливових опадів, кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону. [4];

- встановлення технічних вимог до матеріалів і сумішей та рекомендованих параметрів щодо виробництва та влаштування дренуючих асфальтобетонів. [5, 15]

- автором проаналізовано технологічні та вартісні аспекти доцільності впровадження дренуючого асфальтобетону [1].

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів: підтверджується погодженістю теоретичних передбачень та експериментальних результатів; 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: Міжнародній науково-практичній конференції "Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022; Міжнародній конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проєктуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми

«Велике будівництво». Київ, НТУ, 2022.; наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету в 2021 р., 2022 р. та 2023 р.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 16 наукових праць, у тому числі: 8 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України; 1 стаття у зарубіжних періодичних наукових виданнях; 7 у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій;

Структура та обсяг дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 115 найменувань та чотири додатки. Загальний обсяг дисертації становить 198 сторінок. Основний текст викладений на 151 сторінці. Текст ілюструється 53 рисунками і містить 39 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЩОДО ІСНУЮЧОГО ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ ТА УМОВ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Загальні відомості щодо дренуючого асфальтобетону

Дренуючий асфальтобетон – пористий матеріал, який застосовують в якості покриття автомобільних доріг поверх щільного асфальтобетону, що забезпечує швидке відведення води з поверхні дороги. У США цей матеріал отримав назву Open graded friction course (OGFC) і застосовується вже понад 70 років. Даний матеріал було розроблено в 1940-х роках для підвищення рівня безпеки на дорогах. Підбір суміші проводився таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, по яких вода з поверхні дороги видаляється набагато швидше, ніж з покриття з щільних асфальтобетонних сумішей. Це досягається за рахунок особливості гранулометричного складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь. Каліфорнія була першим штатом США, який в 1944 році почав використання дренуючого асфальтобетону [34].

Дренуючий асфальтобетон (ДАБ) – це асфальтобетон каркасного типу з дуже великою кількістю пустот між зернами щебеню, які дозволяють воді вільно стікати через його структуру до непронижного шару. Переваги ДАБС, пов'язані з безпекою та навколишнім середовищем, були визнані в світі протягом багатьох років [51]. Використання таких сумішей сприяє видаленню води з поверхні покриття і тим самим забезпечує кращий коефіцієнт зчеплення між шинами та дорожнім покриттям, таким чином мінімізуючи аварійність у дощову погоду, і, в той же час, знижуючи рівень шуму від руху [90]. На рисунку 1.1 показано різницю в пористості між дренуючим і щільним асфальтобетоном. ДАБ дозволяє воді вільно проникати через його структуру завдяки високій пористості. Завдяки цьому

пористі дренуючі асфальтобетони поступово отримали визнання в усьому світі [51].



Рисунок 1.1 – Відмінність дренуючих асфальтобетонів від типових щільних

Дренуючий асфальтобетон використовують під час будівництва автомобільних доріг з метою підвищення зчеплення колеса автомобіля з покриттям під час дощу. Вода не затримується на поверхні цього покриття і швидко по порам відводиться до узбіч. Ця обставина виключає явище «аквапланування» при швидкому русі автомобіля. Професор Васанта Мампеарачі встановив, що незалежно від застосовуваного методу підбору складу, висока пористість призводить до зниженої кількості міжзернових контактів і, як наслідок, до зниження довговічності дренуючого асфальтобетону [99]. Більшість методів проектування складу для поліпшення експлуатаційних характеристик рекомендує підвищити вміст в'язучого, використовувати більш в'язке в'язуче або ввести відповідні модифікуючі добавки.

В Америці ретельно вивчали дану технологію такі вчені, як Губер Г., Кендел П.С., Р.Б. Меллік, Г. Тейлор [34, 40]. На основі їх досліджень в

National Center for Asphalt Technology (NCAT) були розроблені та видані наукові видання, нормативні документи та посібники щодо проєктування, виготовлення та влаштування дренуючих асфальтобетонів. Gregory Taylor на основі досліджень розробив навчальний посібник «CE-02-901 Open-Graded Friction Course», який включає переваги використання, безпекові якості (збільшення коефіцієнта зчеплення, рівності, видимості, зменшення ДТП) та зниження шуму; економічні питання; термін служби; обмеження або минулі проблеми; основи проєктування і використання суміші OGFC; питання технічного обслуговування та ін. Завдяки цьому, більше ніж в 14 штатах успішно використовується ДАБ. Дослідження, проведені в США дали значний поштовх для розвитку дренуючих асфальтобетонів і у Великій Британії, Німеччині, Нідерландах, Італії, Швейцарії та в низці інших країн Європи.

Данській вчений Карстен Бредаль Нільсен досліджував довговічність та засмічення пористого асфальтобетону і на основі аналізу та виданих наукових звітів [110, 111] зробив висновок, що використання модифікованих бітумів збільшує термін служби пористого асфальту за рахунок збільшення когезії та адгезії в асфальтових сумішах і за рахунок збільшення товщини в'язучої плівки без ризику сегрегації в'язучого. Також вони підвищують стійкість до розтріскування завдяки вищій в'язкості при вищих температурах і вищій гнучкості при нижчих температурах. Щодо засмічення, за налізом кернів 2-х автомагістралей в Нідерландах та міської вулиці в Копенгагені, визначено, що засмічення відбувається на відстані 0-30 мм від поверхні покриття і відсутнє на поверхні. Через 3 роки засмічення відбувається рівномірно по поперечному профілі, а через 11 років експлуатації, засмічення більше між смугами накату та менше по бокам полоси. Нільсен на основі лабораторного дослідження 18 різних пористих асфальтових сумішей робить висновок про те, що найбільш довговічна суміш виходить з використанням трохи зменшеного вмісту пустот у суміші та високомодифікованого SBS в'язучого, розробленого з м'якого

первинного в'язучого. Висновок базується на тестах Cantabro і не підтверджується досвідом використання.

Німецький вчений Шефер [112] повідомляє про досвід використання третього покоління пористого асфальту в Німеччині з 1996 року, що складається із суміші 40 мм 0/8 мм з вмістом пустот мінімум 22 % і в'язучого з високим вмістом полімеру. Він визначає, що термін служби, пов'язаний із шумом, складе понад 6 років, а термін служби конструкції – понад 10 років. Він також вказує на практику герметизації 2,5 кг/м² тим самим в'язучим, що використовується для пористого покриття.

Пасетто М. повідомляє, що в Італії широко використовується пористий асфальт, особливо для автомагістралей. Довговічність також є не досить вивченою то розглянутою проблемою в Італії, тому було проведено дослідження щодо впливу поліпропілену, поліакрилонітрилу та целюлозних волокон на характеристики пористого асфальту. Було виявлено, що волокна значно покращили поведінку в тесті Cantabro, особливо для сумішей з більшим вмістом сполучного [113].

А.М. Богуславський подає такий склад дренуючого асфальтобетону:

- щебінь гранітний фракції 10-15 мм – 74 %;
- щебінь гранітний фракції 5-10 мм – 10 %;
- пісок – 12 %;
- мінеральний порошок – 4 %;
- бітум марки БНД 60/90 4% від маси мінерального матеріалу;
- поверхнево-активна речовина 0,3 % від маси бітуму.

В науково-дослідній роботі [44] згадано, що в Україні такі вчені, як Г.К. Сюньї, М.І. Волков, І.М. Борщ, І.В. Корольов, В.О.Золотарьов, В.В. Мозговий також досліджували можливість улаштування верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону. Було визначено, що мінеральні зерна в асфальтобетонній суміші вкриті шаром бітуму, при ущільненні утворюють конгломератну трьохфазну систему – мінеральний остов, бітум, повітря. Повітря знаходиться в міжзернових порах, не заповнених бітумом та в

пустотах мінеральних зерен. Були досліджені варіанти конструкцій і місця влаштування дренуючих асфальтобетонів, які не набули подальшого розвитку.

Виробництво і влаштування дренуючих асфальтобетонних сумішей мало чим відрізняється від виробництва і влаштування звичайних сумішей. Можливе збільшення часу перемішування компонентів суміші через використання добавок і температури суміші, що пов'язано з використанням більш в'язких марок в'язучого. Для укладання використовують звичайний асфальтоукладач. Ущільнення виконують тільки з використанням статичних гладковальцевих котків, оскільки пневмошини можуть виривати суміш, а віброкотки можуть переущільнити суміш, що призведе до зниження пористості. Професор Цзяньчжун Пей вважає, що на характеристики ДАБ сильно впливають характеристики внутрішньої структури, пов'язані з формуванням кістяка в процесі ущільнення. Ущільнення асфальтобетонної суміші – це процес безперервної міграції та переміщення заповнювачів, в результаті якого відбувається поступовий перехід асфальтобетонних сумішей з пухкого в'язкопружного стану до зв'язного стану. Міграція заповнювачів в цілому відображає ступінь ущільнення асфальтобетонних сумішей, що пов'язано з механікою та довговічністю дорожнього одягу [90].

Останнім часом проникним покриттям приділяється велика увага у світі з погляду підвищення безпеки водіння через їх добрі дренажні характеристики [96]. Покриття з дренуючого асфальтобетону було створено для збільшення безпеки на дорогах, але крім високих зчіпних характеристик вони володіють і рядом інших переваг. Висока пористість забезпечує водопроникність, що зменшує кількість поверхневої води і, таким чином, зменшує утворення бризок при дощовій погоді. Це веде до зниження ризику аквапланування і збільшення видимості на дорогах, а в кінцевому підсумку - до підвищення рівня безпеки автомобільних доріг. Крім того, особлива

текстура поверхні дренуючого асфальтобетону сприяє зменшенню шуму, що виникає при взаємодії шини з покриттям.

Через проблеми з довговічністю, які в основному пов'язані з недосконалістю складу, в 1980-х роках в США багато штатів припинили використання дренуючих асфальтобетонів. Однак, деякі штати, включаючи Джорджію, Техас і Орегон спробували вдосконалити склад і продовжували використовувати цей матеріал. Зміни включали застосування бітуму, модифікованого полімером, введення волокнистих добавок з метою стабілізувати суміш і зменшити стікання в'язучого, збільшення вмісту в'язучого і пористості, а також використання більш міцних мінеральних заповнювачів. Бітум, модифікований полімером, сприяв утворенню більш товстих плівок в'язучого на зернах мінерального матеріалу, що знижувало його окиснювальне старіння і перешкоджало руйнуванню покриття.

Крім США активне застосування дренуючого асфальтобетону мало місце і в інших країнах, серед яких можна відзначити Японію, Великобританію, Францію, Нідерланди, Німеччину. На відміну від дренуючих асфальтобетонів, що використовуються в США (OGFC), в Європі дренуючі асфальтобетони мають дещо більшу пористість від 18 % до 22 %, вимагають обов'язкового застосування бітуму, модифікованого полімером, і пред'являють більш високі вимоги до мінеральних матеріалів.

Як вже було описано вище, в Італії також доволі широко розвинута технологія покриття із дренуючого асфальтобетону. Такі асфальтобетони дуже добре себе зарекомендували і успішно на протязі багатьох років виконують своє завдання. Тому там навіть почали проводити дослідження з вивчення та порівняння екологічних характеристик пористих асфальтобетонних сумішей, що складаються з первинних (стандартних) заповнювачів, заповнювачів переробленого бетону (відходів) та інноваційного синтетичного прозорого в'язучого на основі поліолефіну для використання у містах. Тобто, у вченого Беатріс де Паскаль новизна дослідження полягає не в провадженні дренуючого асфальтобетону, а

зосереджена на новому етапі - головним чином на оцінці впливу на довкілля пористої асфальтобетонної суміші для міських доріг, що складається на 50% з перероблених бетонних заповнювачів та синтетичного прозорого в'язучого на основі поліолефіну [109].

Протягом терміну служби проникних дорожніх покриттів існує безліч факторів, які викликають передчасне зниження водовідведення, у тому числі зменшення порожнеч, спричинених засміченням. Кольматація пористого асфальтобетону є поширеною проблемою через поступове відкладення частинок на поверхні покриття від зливових вод та транспортних засобів. Доктор технічних наук Сіань-хуа Чень встановив, що пористі асфальтобетони мають тенденцію ставати непроникними, у випадку замулювання пор, і далі вони виконують функцію звичайного покриття автомобільних доріг з щільним асфальтобетоном. Тому, переваги гарних характеристик дренажувальних властивостей більше не діють. На даний час недостатньо літератури, що оцінює проникність та ефект засмічення. Таким чином, відображення оцінки проникності під впливом засмічення є складним завданням і варто присвятити цьому багато зусиль в майбутньому [96].

В загальному, варто зазначити, що дренажувальний асфальтобетон вдало використовується майже в кожній європейській країні, а також Америці та азійських країнах понад 20 років. І як стверджує іспанський вчений Кортес Ж-Ф. [111], що головна перевага, яка пов'язана з дренажувальним асфальтобетоном, це підвищення безпеки та комфорту учасників дорожнього руху та зниження шуму, що підтверджується майже всією літературою в світі про дренажувальний асфальтобетон, як шар покриття для автомобільних доріг.

1.2 Проектування складу дренуючих асфальтобетонних сумішей

Методика проектування дренуючих асфальтобетонних сумішей, перші принципи якої були розроблені Federal Highway Administration (FHWA) в 1974 році, відрізнялася від методики підбору для звичайних сумішей, що пов'язано з особливістю структури цього матеріалу. Незалежно від застосовуваного методу підбору складу висока пористість призводить до зниженої кількості міжзернових контактів і, як наслідок, до зниження довговічності дренуючого асфальтобетону [34]. Характеристики розподілу порожнин дренуючої асфальтобетонної суміші мають певний вплив на її довговічність. Вчений Цю-Сю Тенг, доктор філософії в Університеті Св. Джона, встановив, що пустоти розміром більше 3 мм в пористій суміші мають більший вплив на довговічність асфальтобетонної суміші. Навіть якщо коефіцієнт порожнечі різних сумішей відносно близький, їхня довговічність також сильно відрізняється. Різниця в довговічності обумовлена, головним чином, відмінністю структури порожнин і часткою кількості великих порожнин понад 5 мм [98]. Більшість методів проектування складу для поліпшення експлуатаційних характеристик рекомендує підвищити вміст в'язучого, використовувати більш в'язке в'язуче або ввести відповідні модифікуючі добавки.

Перша широко використовувана методика проектування дренуючих асфальтобетонних сумішей була розроблена FHWA і видана в 1974 році. Вона була змінена двічі (в 1980 році та в 1990 році), поки в результаті досліджень National Center for Asphalt Technology (NCAT) не було створено методику проектування складу дренуючих асфальтобетонних сумішей нового покоління. [36 - 43] У цьому документі надано рекомендації щодо вибору матеріалів, зернового складу, оптимального вмісту в'язучого, температури суміші і водостійкості. Рекомендується використовувати високоякісні мінеральні матеріали, в той час як вибір бітумного в'язучого і

добавок залежить від місцевих умов. Рекомендовані зернові склади дренуючих асфальтобетонних сумішей представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Рекомендований зерновий склад дренуючих асфальтобетонних сумішей

Розмір сит	Зерновий склад FHWA (повний прохід, %)	Зерновий склад NCAT (повний прохід, %)
3/4 дюйма (19 мм)	100	100
1/2 дюйма (12,5 мм)	100	85-100
3/8 дюйма (9,5 мм)	95-100	55-75
# 4 (4,75 мм)	30-50	10-25
# 8 (2,36 мм)	5-15	5-10
# 200 (0,075 мм)	2-5	2-4

Підбір складу суміші відповідно до методики NCAT поділений на три етапи.

Перший етап стосується вибору якісних вихідних дорожньо-будівельних матеріалів.

До мінерального заповнювача висувають жорсткі вимоги щодо:

- стираності;
- вмісту подрібнених зерен;
- вмісту зерен лещадної та голчастої форми;
- абсорбційної спроможності (задається верхня межа).

Рекомендується використовувати бітум, модифікований полімером, на дві марки вище, ніж зазвичай використовується в даному регіоні в залежності від максимальної температури повітря впродовж 7 діб. Для підвищення міцності та довговічності рекомендується також використання волокнистих стабілізуючих добавок. Вважається, що модифікатори збільшують термін служби пористого асфальту за рахунок збільшення когезії та адгезії в сумішах і за рахунок збільшення товщини в'язучої плівки без ризику сегрегації бітуму. Також вони підвищують стійкість до

розтріскування завдяки вищій в'язкості при вищих температурах і вищій гнучкості при нижчих температурах [111].

На другому етапі виконують підбір зернового складу залежно від області застосування дренуючих асфальтобетонів.

На третьому етапі підбирають оптимальний вміст бітумного в'язучого і перевіряють якість готового дренуючого асфальтобетону. Оптимальний вміст в'язучого визначають за результатами виконання ряду випробувань суміші та зразків, ущільнених в гіраторному пресі.

До них відносяться:

- визначення стікання в'язучого (не більше ніж 0,3 %);
- пористість (не менше ніж 18 %);
- зносостійкість зразків до і після старіння (втрати за масою не більше 20 % і 30 %, відповідно);
- водостійкість (залишкова міцність не менше ніж 80 %).

Департаменти доріг окремих штатів вдосконалюють свої власні методики підбору складу сумішей, оскільки зіткнулися з виниклими на їх покриттях проблемами. В результаті накопиченого досвіду був розроблений нормативний документ ASTM D 6932 / D 6932M [48]. Цей документ установлює вимоги до влаштування шарів зносу із дренуючих асфальтобетонних сумішей. В ньому представлено вимоги до мінеральних заповнювачів і бітумних в'язучих, а також вимоги до зернового складу, типу бітумного в'язучого і його вмісту в різних штатах. Особливу увагу приділено формі зерен, яка повинна максимально наближатися до кубовидної, та чистоті мінеральних заповнювачів. Вимоги різних штатів до складу дренуючих асфальтобетонів наведено в таблицях 1.2 – 1.9.

Таблиця 1.2 - Рекомендації штату Арізона до підбору складу дренуючих асфальтобетонів на бітумі, модифікованому полімером, з максимальним розміром зерен 9,5 мм (3/8 дюйма) (ASTMD 6932 / 6932M)

Розмір сит	Арізона (бітум, модифікований полімером)	
	Мін.	Макс.
12,5 мм (1/2 дюйма)	100	100
9,5 мм (3/8 дюйма)	100	100
4,75 мм (№ 4)	35	55
2,36 мм (№ 8)	9	14
2,00 мм (№ 10)	-	-
1,18 мм (№ 16)	-	-
0,075 мм (№ 200)	0	2,5
Тип бітумного в'язучого	PG 64 - 16	
Вміст бітумного в'язучого	6,0 %	

Вибір оптимального вмісту бітумного в'язучого виконують виходячи з економічних міркувань і накопиченого досвіду згідно ASTM D 7064 [47]. Для звичайних дренуючих асфальтобетонних сумішей вміст бітумного в'язучого має становити від 5 % до 7 % від загальної маси суміші, для дренуючих асфальтобетонних сумішей на бітумі, модифікованому полімером, - від 6 % до 8 %, а для дренуючих асфальтобетонних сумішей на бітумі, модифікованому гумовою крихтою, - від 8,5 % до 10 %.

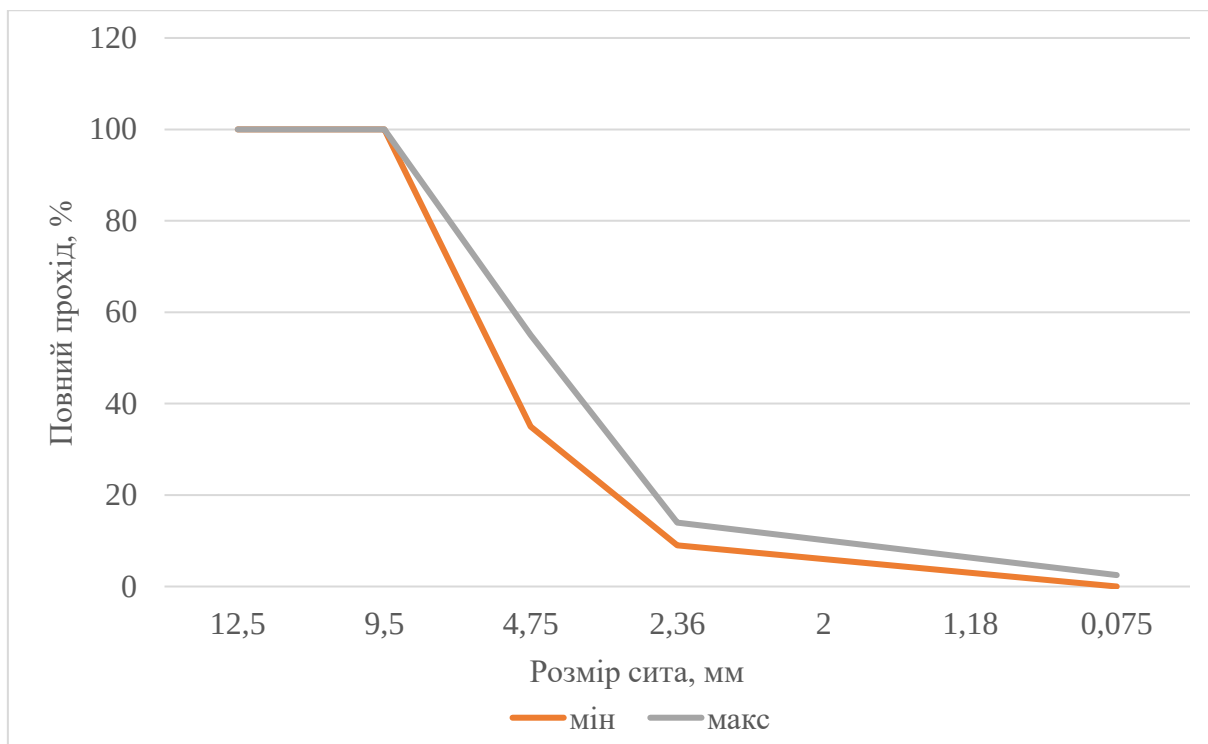


Рисунок 1.2 – Межі зернового складу для дренажного асфальтобетону на основі бітуму, модифікованого полімером, в штаті Арізона

Таблиця 1.3 - Рекомендації штату Арізона до підбору складу дренажних асфальтобетонів на бітумі, модифікованому гумовою крихтою, з максимальним розміром зерен 9,5 мм (3/8 дюйма) (ASTMD 6932 / 6932M)

Розмір сит	Арізона (бітум, модифікований гумовою крихтою)	
	Мін.	Макс.
12,5 мм (1/2 дюйма)	100	100
9,5 мм (3/8 дюйма)	100	100
4,75 мм (№ 4)	30	45
2,36 мм (№ 8)	4	8
2,00 мм (№ 10)	-	-
1,18 мм (№ 16)	-	-
0,075 мм (№ 200)	0	2,5
Тип бітумного в'язучого	PG 64-16 + 20 % гумової крихти	
Вміст бітумного в'язучого	8,5 - 10 %	

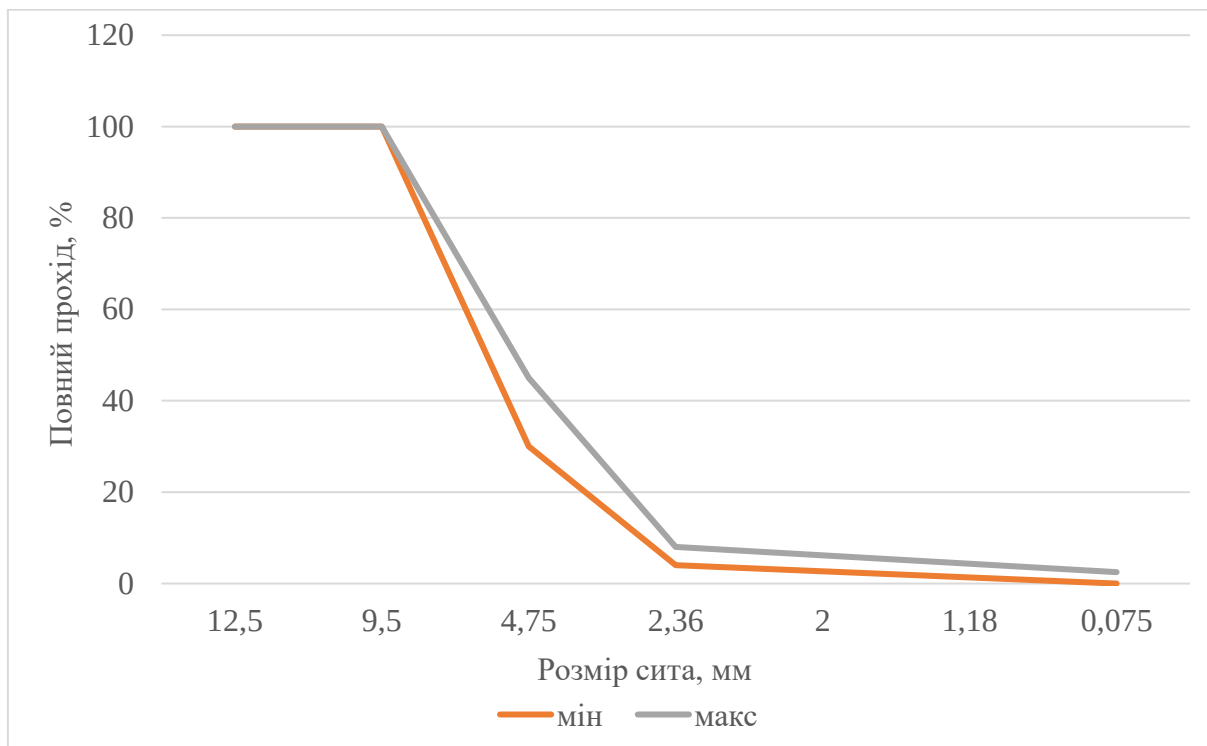


Рисунок 1.3 - Межі зернового складу для дренажного асфальтобетону на основі бітуму, модифікованого гумовою крихтою, в штаті Арізона

Таблиця 1.4 - Рекомендації штату Каліфорнія до підбору складу дренажних асфальтобетонів з максимальним розміром зерен 9,5 мм (3/8 дюйма)(ASTMD 6932 / 6932M)

Розмір сит	Каліфорнія	
	Мін.	Макс.
12,5 мм (1/2 дюйма)	100	100
9,5 мм (3/8 дюйма)	90	100
4,75 мм (№ 4)	29	36
2,36 мм (№ 8)	7	18
2,00 мм (№ 10)	-	-
1,18 мм (№ 16)	-	-
0,075 мм (№ 200)	0	0
Тип бітумного в'язучого	AR 4000, AR 8000, PBA-6	

Вміст бітумного в'язучого	6,5 - 8 %
---------------------------	-----------

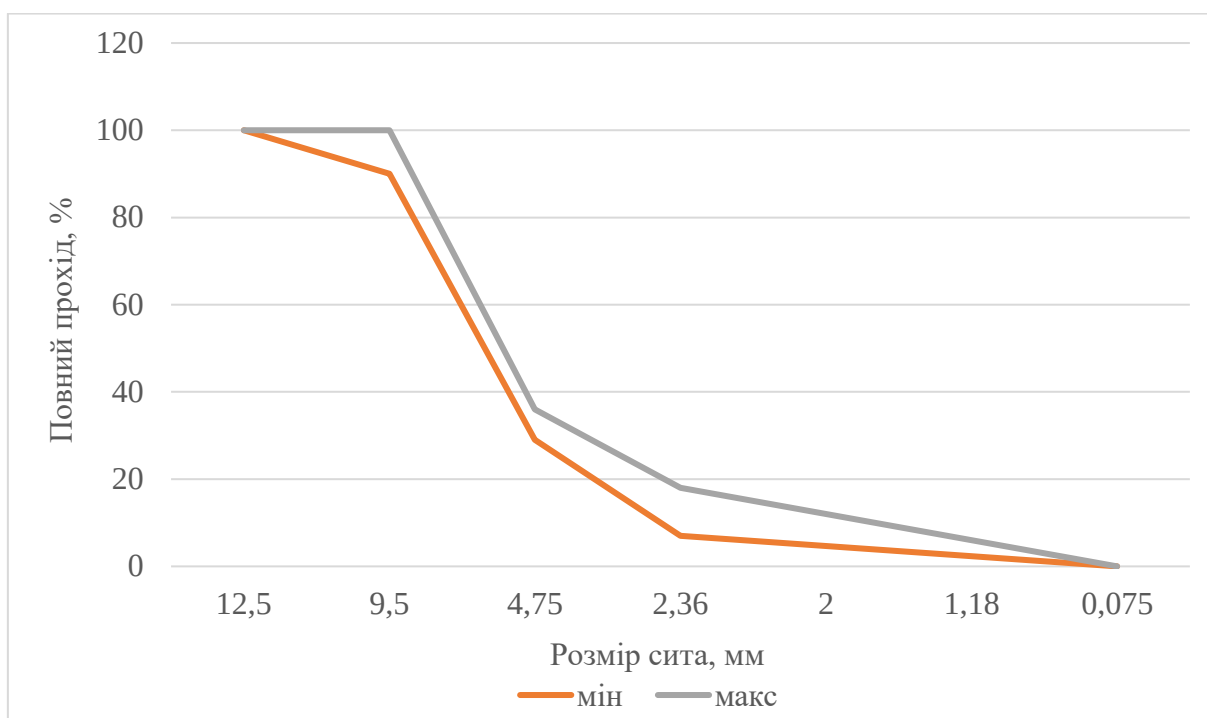


Рисунок 1.4 – Межі зернового складу для дренажного асфальтобетону в штаті Каліфорнія

Таблиця 1.5 - Рекомендації штату Флорида до підбору складу дренажних асфальтобетонів з максимальним розміром зерен 9,5 мм (3/8 дюйма)(ASTMD 6932 / 6932M)

Розмір сит	Флорида	
	Мін.	Макс.
12,5 мм (1/2 дюйма)	100	100
9,5 мм (3/8 дюйма)	85	100
4,75 мм (№ 4)	10	40
2,36 мм (№ 8)	-	-
2,00 мм (№ 10)	4	12
1,18 мм (№ 16)	-	-
0,075 мм (№ 200)	2	5
Тип бітумного в'язучого	АС 30 + 12 % гумової крихти	

Вміст бітумного в'язучого	5,5 - 7,0 %
---------------------------	-------------

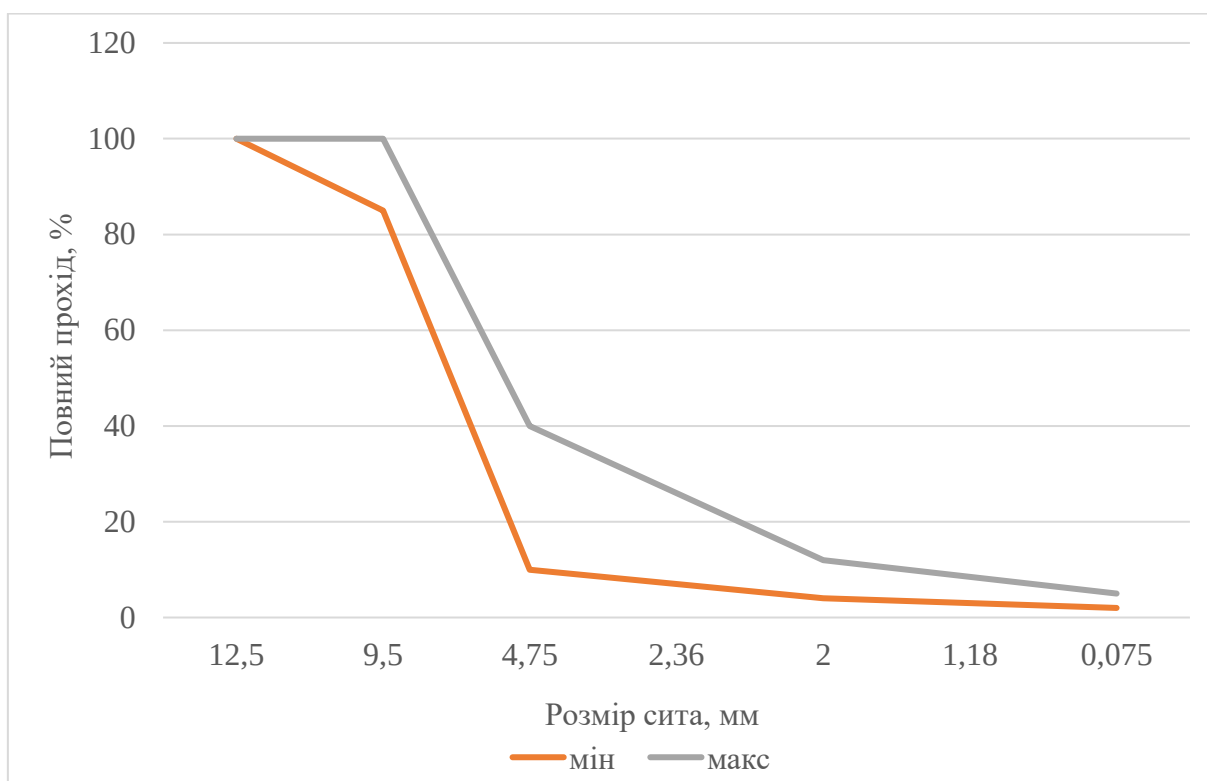


Рисунок 1.5 – Межі зернового складу для дренуючого асфальтобетону в штаті Флорида

Таблиця 1.6 - Рекомендації штату Невада до підбору складу дренуючих асфальтобетонів з максимальним розміром зерен 9,5 мм (3/8 дюйма) (ASTMD 6932 / 6932M)

Розмір сит	Невада	
	Мін.	Макс.
12,5 мм (1/2 дюйма)	100	100
9,5 мм (3/8 дюйма)	95	100
4,75 мм (№ 4)	40	65
2,36 мм (№ 8)	-	-
2,00 мм (№ 10)	-	-
1,18 мм (№ 16)	12	22
0,075 мм (№ 200)	0	4

Тип бітумного в'язучого	АС 20Р або АС 30
Вміст бітумного в'язучого	Зазвичай 6,5 %

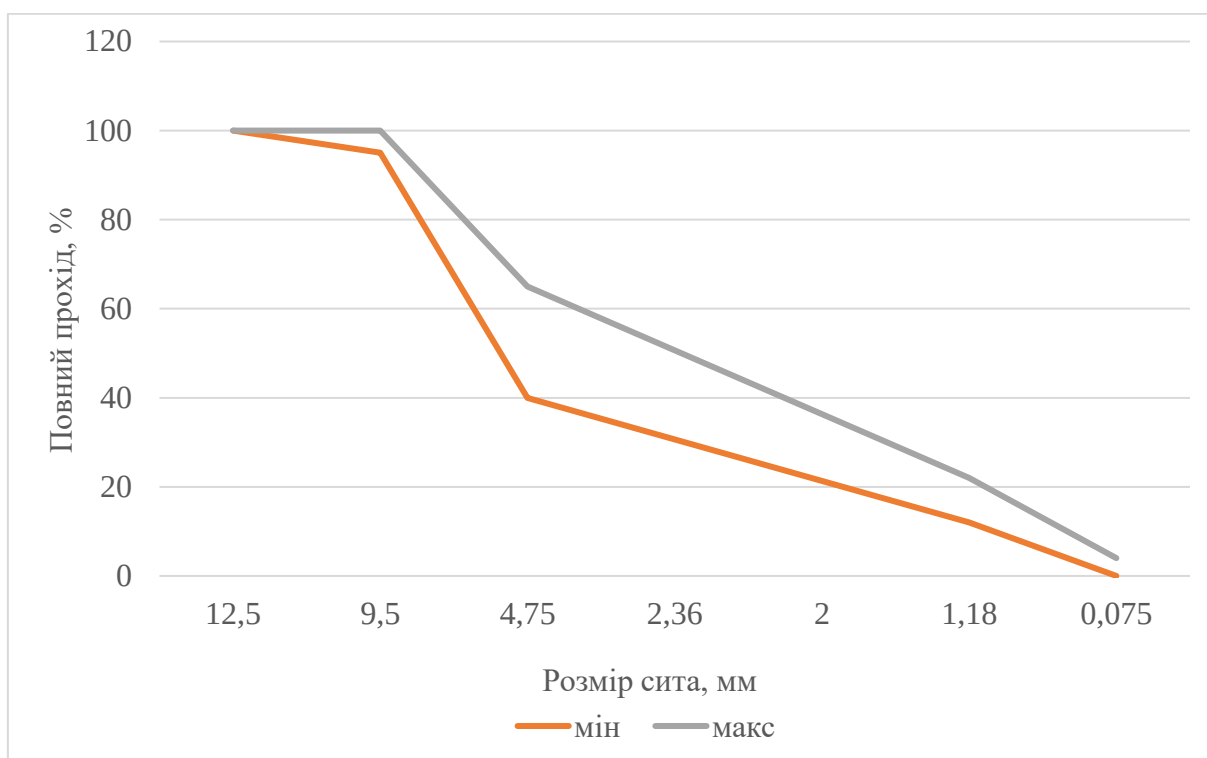


Рисунок 1.6 – Межі зернового складу для дренажного асфальтобетону в штаті Невада

Таблиця 1.7 - Рекомендації штату Вайомінг до підбору складу дренажних асфальтобетонів з максимальним розміром зерен 9,5 мм (3/8 дюйма) (ASTMD 6932 / 6932M)

Розмір сит	Вайомінг	
	Мін.	Макс.
12,5 мм (1/2 дюйма)	100	100
9,5 мм (3/8 дюйма)	97	100
4,75 мм (№ 4)	25	45
2,36 мм (№ 8)	10	25
2,00 мм (№ 10)	-	-
1,18 мм (№ 16)	-	-
0,075 мм (№ 200)	2	7

Тип бітумного в'язучого	PG 64-22 або PG 70-28
Вміст бітумного в'язучого	6,3 - 6,8 %

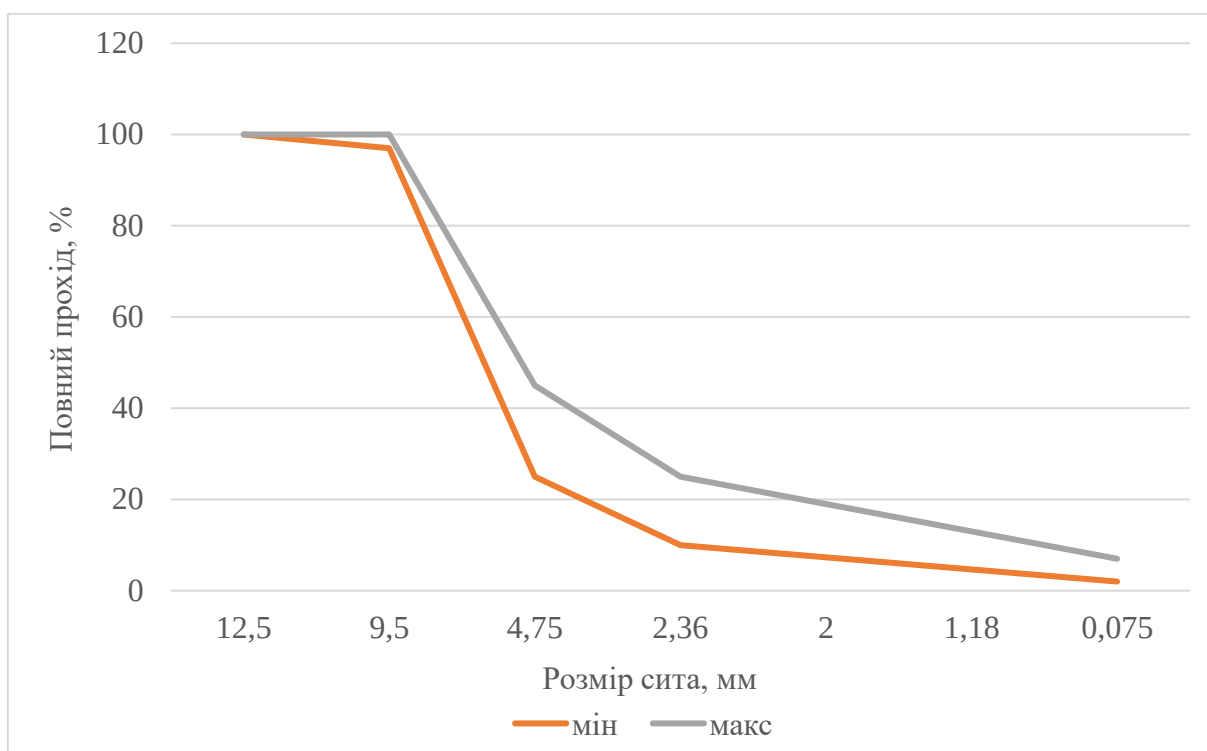


Рисунок 1.7 – Межі зернового складу для дренуючого асфальтобетону в штаті Вайомінг

Таблиця 1.8 - Рекомендації штату Джорджія до підбору складу дренуючих асфальтобетонів з максимальним розміром зерен 9,5 мм (3 / 8 дюйма) (ASTMD 6932 / 6932M)

Розмір сит	Джорджія	
	Мін.	Макс.
12,5 мм (1/2 дюйма)	100	100
9,5 мм (3/8 дюйма)	85	100
4,75 мм (№ 4)	20	40
2,36 мм (№ 8)	5	10
2,00 мм (№ 10)	-	-
1,18 мм (№ 16)	-	-
0,075 мм (№ 200)	2	4

Тип бітумного в'язучого	PG 67-22
Вміст бітумного в'язучого	6,0 - 7,3 %

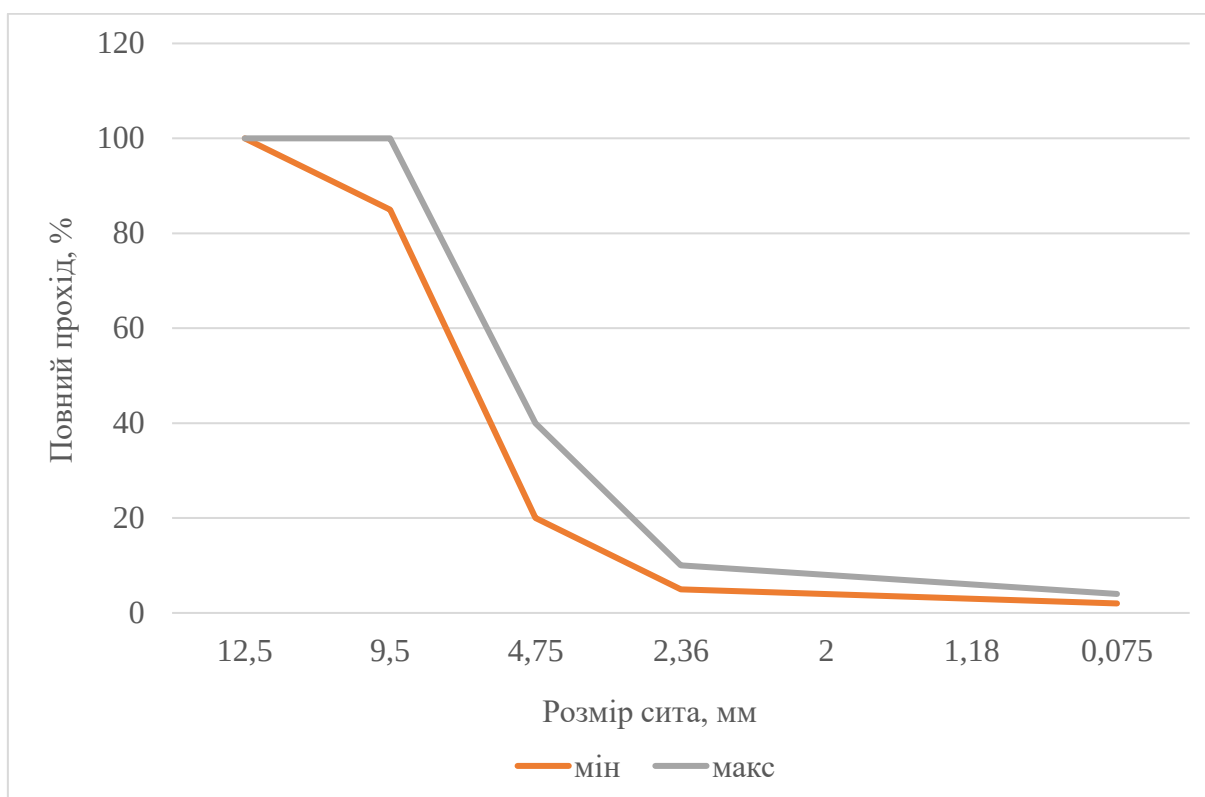


Рисунок 1.8 – Межі зернового складу для дренуючого асфальтобетону в штаті Джорджія

У кожній конкретній європейській країні ці норми прив'язані до наявних умов і накопиченого досвіду, і на підставі їх видано власні нормативні документи. Так, в Німеччині, таким документом є TL Asphalt-StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen [49]. Згідно з цим документом температура дренуючої асфальтобетонної суміші повинна бути в межах (140 – 170) оС. Застосування фрезерованого асфальтобетону не допускається. Зернові склади дренуючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині в залежності від максимального розміру зерен щебеню (TL Asphalt-StB07) представлено в таблиці 1.9. При цьому регламентуються: пористість - в межах від 24 % до 28 %, мінімальний вміст в'язучого – від 5,5 % до 6,5 %, в залежності від

максимального розміру щебеню, марка в'язучого - 40/100-65. Застосування стабілізуючих добавок обов'язкове. Дуже жорсткі вимоги пред'являються до мінеральних заповнювачів по стійкості до зносу та вмісту подрібнених зерен (100 %).

Таблиця 1.9 - Гранулометричні склади дренуючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині (TL Asphalt - StB 07)

Розміри сит, мм	Проходи, %, в залежності від типу дренуючого асфальтобетону		
	PA16	PA11	PA8
22,4	100	-	-
16,0	90-100	100	-
11,2	5-15	90-100	100
8,0	-	5-15	90-100
5,6	-	-	5-15
2,0	5-10	5-10	5-10
0,063	3-5	3-5	3-5

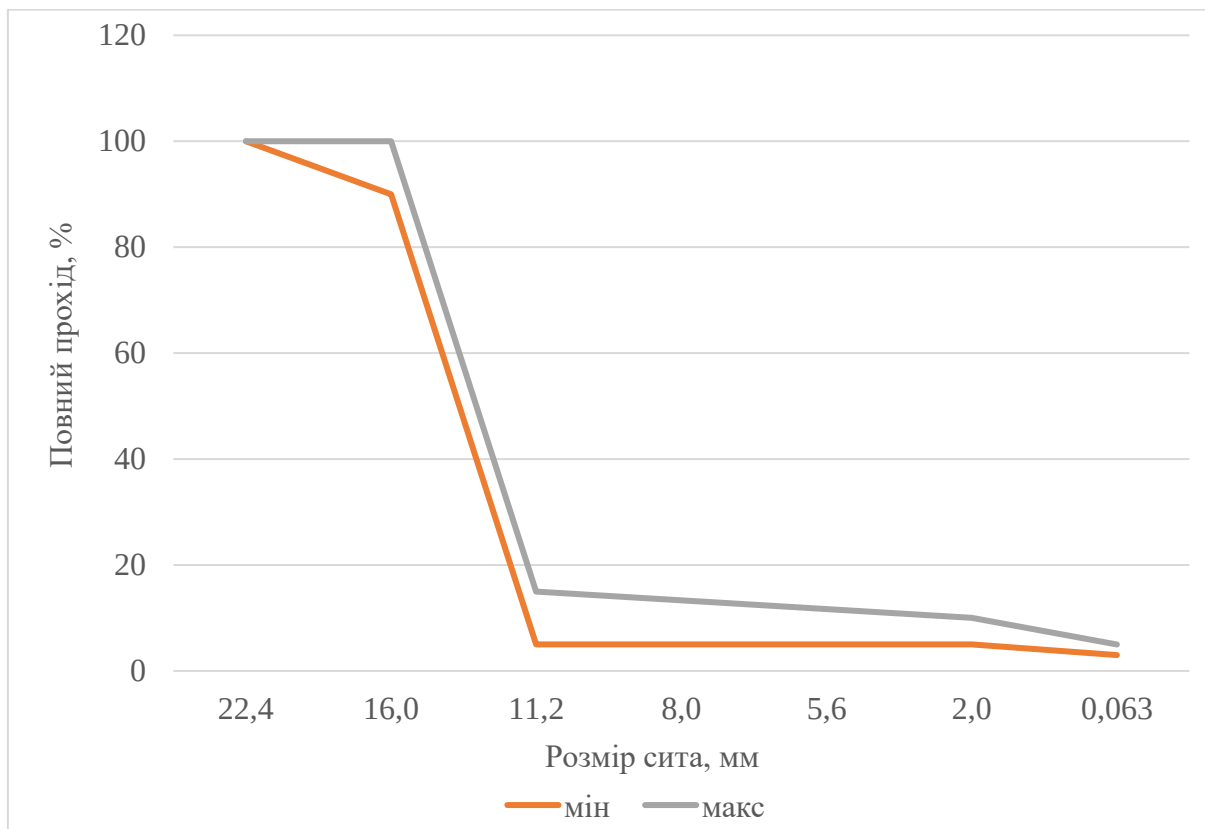


Рисунок 1.9 – Межі зернового складу для дренуючого асфальтобетону PA16 в Німеччині

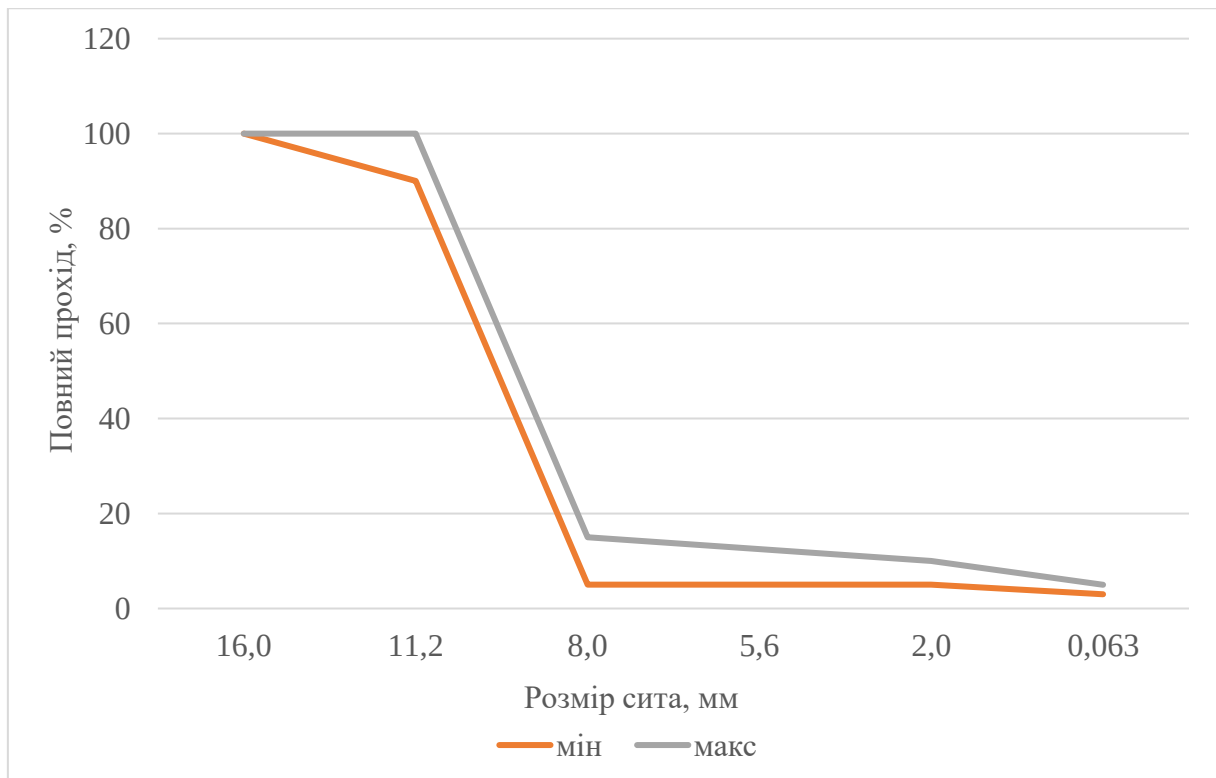


Рисунок 1.10 – Межі зернового складу для дренуючого асфальтобетону РА11 в Німеччині

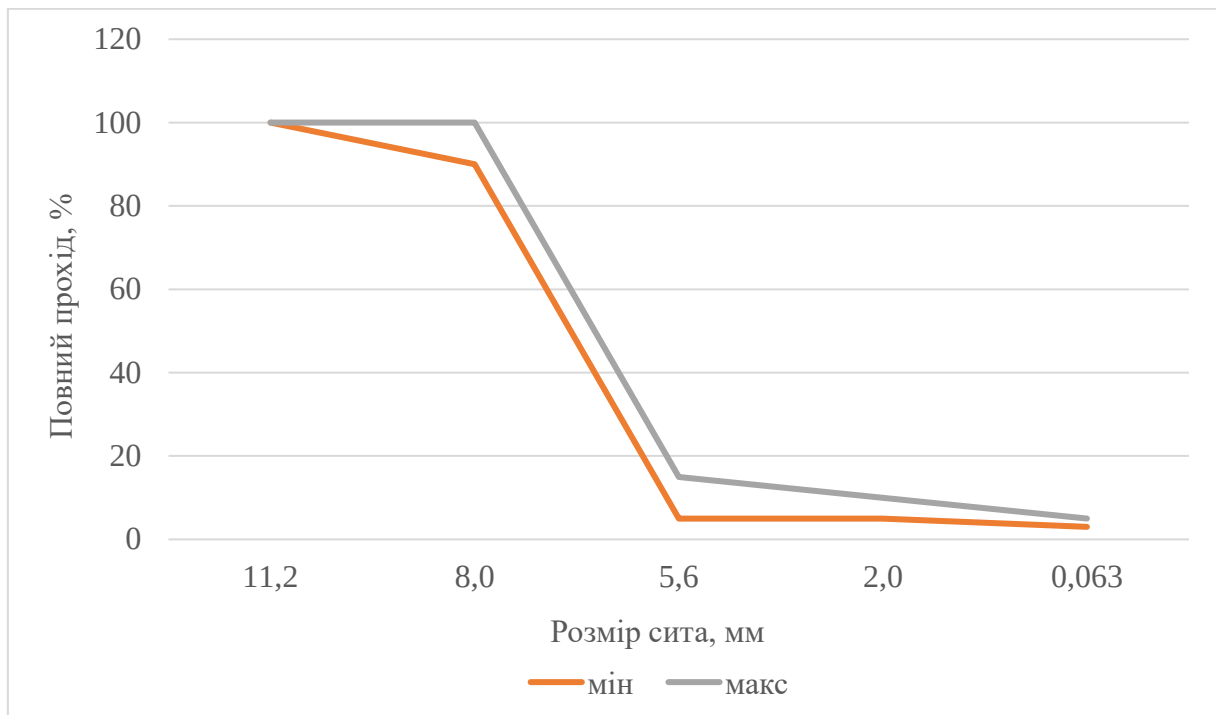


Рисунок 1.11 – Межі зернового складу для дренуючого асфальтобетону РА8 в Німеччині

1.3 Виробництво дренуючого асфальтобетону

Існують деякі суттєві відмінності між процедурами виробництва та укладання дренуючих асфальтобетонних сумішей та звичайних гарячих асфальтобетонних сумішей (АСГ).

Основною модифікацією, в порівнянні з виробництвом АСГ, є додавання стабілізуючої добавки. Типова норма дозування становить 0,4 % стабілізуючої добавки від маси мінерального матеріалу або 0,3 % від загальної маси суміші. Як правило, стабілізуючі добавки можуть вироблятися у вигляді пухких волокон або гранульованого волокна.

Стабілізуючі добавки постачають в поліетиленових пакетах. Ці пакети переносять на платформу конвеєрної стрічки змішувальної установки. У цьому досить трудомісткому методі робітники кидають у змішувальну установку відповідну кількість пакетів. Пакети плавляться і волокно ретельно переміщується з нагрітим заповнювачем під час циклу сухого перемішування суміші.

Гранульовані волокна містять певну кількість бітумного в'язучого (для зв'язування волокон), яке має бути враховано до загального вмісту в'язучого в асфальтобетонній суміші. Гранульоване волокно переноситься в бункер, звідки його дозують, і транспортують до барабана барабанної установки. Гранули змішуються з нагрітим заповнювачем, тим самим розплавляючи бітумне в'язуче і дозволяючи волокну змішуватися з заповнювачем.

Дуже важливо, щоб додавання волокна, сипучого чи гранульованого, було відкалібровано для забезпечення рівномірності вмісту волокна в суміші. Якщо волокно не буде ретельно розподілене в суміші або вміст волокна буде неоптимальним, то існує вірогідність появи плям на поверхні готового покриття з дренуючого асфальтобетону.

У разі використання целюлозних волокон, необхідно збільшити як час сухого перемішування, так і час мокрого перемішування. Це забезпечує

якісне розподілення волокон під час циклу сухого перемішування та рівномірне покриття всіх частинок заповнювача бітумним в'язучим впродовж циклу мокрого перемішування. Асфальтобетонну суміш не можна зберігати в бункерах накопичення впродовж тривалого періоду часу через можливі проблеми з стіканням в'язучого.

Для виробництва дренуючих асфальтобетонних сумішей забороняється змішувати різні марки бітумних в'язучих або бітумні в'язучі різних виробників. При цьому заповнення видаткової ємності виконують з розрахунку змінної потреби в бітумному в'язучому.

Бітумне в'язуче для виробництва асфальтобетонних сумішей повинно бути зневоднене та підігріте до робочої температури, не допускається перегрівати бітумне в'язуче. Бітумне в'язуче, розігріте до робочої температури, треба використовувати впродовж робочої зміни.

Дренуючу асфальтобетонну суміш виробляють в асфальтозмішувальних установках з примусовим перемішуванням компонентів, дозуючі пристрої асфальтозмішувальних установок повинні забезпечувати потрібну точність дозування.

Асфальтозмішувальне обладнання повинно мати систему автоматичного управління або систему контролювання, що дозволяє проводити моніторинг технологічних параметрів.

При цьому обов'язково треба вимірювати:

- температуру мінеральних матеріалів в сушильному барабані;
- температуру матеріалів, що надходять в змішувальну установку;
- температуру бітумного в'язучого у видатковій ємності;
- температуру суміші на виході зі змішувальної установки;
- температуру суміші в бункері накопичувачі;
- масу матеріалів, що надходять в змішувач (для дозування бітумного в'язучого, мінерального порошку та добавок допускається об'ємне дозування);

- час перемішування.

Пристрої попереднього дозування повинні бути укомплектовані відповідною кількістю живильників по числу компонентів мінеральних матеріалів, за винятком мінерального порошку.

Попереднє дозування щебеню, перед подачею в сушильний барабан, треба здійснювати через бункери попереднього дозування, які обладнують:

- сітками або колосниками для попередження можливого потрапляння негабаритних зерен або сторонніх предметів;
- змінними вивісками для вказівки типу мінерального матеріалу, який необхідно подавати.

Сумарний час зберігання в бункері та транспортування асфальтобетонної суміші до місця укладання не повинен перевищувати 3 год.

Правила дозування та перемішування дренуючих асфальтобетонних сумішей аналогічні приготуванню щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей.

Виробництво, транспортування та укладання суміші треба організовувати так, щоб укладання продовжувалося плавно, без зупинок. Занадто мала кількість вантажних автомобілів призведе до зупинки асфальтоукладача, що може стати причиною деформацій покриття. Занадто багато вантажних автомобілів призведе до затримки розвантаження, що призведе до охолодження дренуючої асфальтобетонної суміші та утворення охолоджених комків.

Дренуючу асфальтобетонну суміш треба укладати лише на непроникному покритті, якщо тільки покриття не буде спеціально розроблене для проникнення. В іншому випадку під час опадів вода пройде через дренуючий асфальтобетон та потрапить у нижній шар дорожнього одягу, що призведе до його потенційного пошкодження вологою. Щойно ущільнений шар гарячої асфальтобетонної суміші може мати до 8 % повітряних пор і може бути проникним для води.

FNHA пропонує герметизувати основу покриття, застосовуючи повільнорозпадну емульсію бітумну дорожню з вмістом бітуму 50 %. Розподіл емульсії повинен бути достатнім, щоб повністю заповнити поверхневі порожнечі. Бітумна емульсія швидше за все, проникне в поверхневі порожнечі більш ефективно, ніж асфальтов'язуче. Більшість покриттів з щільного асфальтобетону стають водонепроникними через два-три роки. Такі покриття не потребують герметизації перед улаштуванням дренажного асфальтобетону. Рекомендовано використовувати переважувачі асфальтобетонних сумішей. Це дозволяє підвищити однорідність суміші (температурну та зернову), а також забезпечити безперервне її укладання. Для укладання та ущільнення дренажної асфальтобетонної суміші використовують звичайні асфальтоукладачі та катки [41].

Температура дренажних асфальтобетонних сумішей на початку ущільнення повинна бути: при використанні звичайного бітуму – не нижче ніж 93 °C; при використанні бітуму, модифікованого полімером, – від 93°C до 135°C; при використанні бітуму, модифікованого гумовою крихтою, – не нижче ніж 135°C.

Ущільнення суміші проводиться без вібрації, при цьому катки повинні слідувати безпосередньо за укладальником. Оптимальний режим ущільнення вибирається на підставі результатів пробного ущільнення.

Дренажні асфальтобетонні суміші треба влаштовувати в якості шару зносу із забезпеченням вільного стоку води з шару на узбіччя, тобто шар не повинен бути взятий в «обойму». Суміш укладається поверх шару з щільною суміші, верх якого повинен бути врівень з верхом дренажних систем. Шар з дренажної асфальтобетонної суміші не є конструктивним.

1.4 Переваги та недоліки покриттів з дренуючих асфальтобетонів

Перевагами дренуючих асфальтобетонів є:

- підвищення зчеплення з покриттям автомобільної дороги;
- ліквідація ефекту аквапланування;
- збільшення видимості в дощ;
- зниження товщини плівки води за рахунок швидкого її відводу;
- відсутність відблисків в нічний час;
- висока стійкість до колієутворення (каркасна структура - вміст щебеню становить 90 %);
- особлива текстура поверхні дренуючого асфальтобетону сприяє зменшенню шуму, що виникає при взаємодії шини з покриттям (зниження рівня шуму на 2 - 6 дБ);
- висока пористість забезпечує водопроникність, що зменшує кількість поверхневої води і, таким чином, зменшує утворення бризок при дощовій погоді.

Недоліки:

- висока пористість служить причиною низької міцності;
- прискорене старіння бітумного в'язучого в асфальтобетоні, оскільки кисень має доступ до більшої площі поверхні асфальтобетону;
- пришвидшене заморожування нижчих шарів, оскільки дренуючих шар не володіє тими теплоізоляційними властивостями, які має покриття з щільних сумішей;
- необхідність спеціального зимового утримання і заходів по очищенню пор, які можуть засмітитися



Рисунок 1.12 Перевага видимості від зменшення бризг та водяного пилу



Рисунок 1.13 Варіанти вирішення проблеми з кольматацією пор. Зліва-направо: промивання під тиском; вакуумні очисники високого тиску; спеціальними машинами для очищення.

1.5 Основні принципи проєктування конструкції нежорсткого дорожнього одягу

При проєктуванні конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу з дренуючим асфальтобетоном необхідно розглянути і виконувати основні принципи проєктування відповідно до ГБН В.2.3-37641918-559 [63].

Вихідними даними для конструювання та розрахунку дорожнього одягу нежорсткого типу є:

- 1) район проєктування;
- 2) категорія автомобільної дороги та розрахункове навантаження;

- 3) тип місцевості за характером зволоження;
- 4) умови поверхневого стоку і гідрогеологічний режим;
- 5) поздовжній профіль дороги;
- 6) ґрунт земляного полотна та його розрахункові характеристики;
- 7) інформація про наявність місцевих дорожньо-будівельних матеріалів.

Проектування дорожнього одягу складається із зв'язаних між собою етапів:

- конструювання (розроблення альтернативних варіантів конструкцій дорожнього одягу);

- розрахунок альтернативних варіантів конструкцій дорожнього одягу на міцність з врахуванням характеристик ґрунту земляного полотна, за двома групами граничних станів, а також на морозостійкість та осушення.

Дорожній одяг проектують з урахуванням надійності згідно з ДБН В.2.3-4 [55]. Загальна товщина конструкції нежорсткого дорожнього одягу, товщини окремих шарів повинні забезпечувати міцність і морозостійкість всієї конструкції. Матеріали і способи їх застосування призначаються згідно [55].

Розрахунок дорожнього одягу здійснюють за двома групами граничних станів:

- 1) за першою групою - несною здатністю:

- для шарів з монолітних матеріалів - за критерієм опору розтягу при згині;

- для ґрунтів і шарів з незв'язних та малозв'язних матеріалів - за критерієм опору зсуву;

- 2) за другою групою - граничними деформаціями: за опором пружному прогину всієї конструкції.

Також дорожній одяг розраховують на морозостійкість та дренажування.

Проектування дорожнього одягу це єдиний процес конструювання і розрахунку дорожньої конструкції.

Під час конструювання нежорсткого дорожнього одягу визначають:

- тип дорожнього одягу і матеріал дорожнього покриття;
- кількість конструктивних шарів, матеріали, розміщення шарів у конструкції, а також попередньо призначають їх товщини;
- необхідність влаштування додаткового морозозахисного шару з урахуванням дорожньо-кліматичної зони, виду ґрунту та схеми зволоження робочого шару земляного полотна;
- необхідність призначення заходів з осушення конструкції дорожнього одягу;
- необхідність призначення заходів з підвищення тріщиностійкості конструкції;
- доцільність укріплення верхньої частини робочого шару земляного полотна;
- альтернативні варіанти з урахуванням місцевих умов влаштування та експлуатації дорожнього одягу.

Варіанти конструкцій дорожнього одягу приймають типовими або розробляють індивідуально для кожної ділянки або ряду ділянок автомобільної дороги, що характеризуються тотожними показниками інтенсивності та складу руху і призначені для експлуатації за подібними природними умовами. Перевагу надають перевіреним на практиці конструкції дорожнього одягу [63].

Під час конструювання дорожнього одягу для нового будівництва враховують:

- категорію автомобільної дороги;
- інтенсивність руху та склад транспортного потоку;
- дорожньо-кліматичну зону та регіон проектування;
- властивості ґрунтів, які передбачається використовувати в робочому шарі земляного полотна;

- підвищення поверхні дорожнього покриття над рівнем ґрунтових або поверхневих вод;
- тип місцевості за умовами зволоження земляного полотна.

Під час конструювання дорожнього одягу для реконструкції або капітального ремонту додатково враховують:

- транспортно-експлуатаційний стан існуючої автомобільної дороги;
- інформацію про будівництво та ремонтні заходи щодо об'єкта;
- загальний модуль пружності дорожнього одягу у розрахунковий період.

У випадках значної неоднорідності величин фактичного загального модуля пружності (понад 25 % від середнього значення), потрібно визначити товщини шарів і пошарово модуль пружності дорожнього одягу та на поверхні земляного полотна. Якщо інформація відсутня щодо значень фактичного модуля пружності існуючого одягу, допускається проектувати дорожній одяг на основі даних обстежень:

- товщин конструктивних шарів дорожнього одягу;
- характеристик матеріалу конструктивних шарів;
- властивостей ґрунту земляного полотна, його вологості та умов зволоження.

Під час призначення матеріалів конструктивних шарів дорожнього одягу необхідно керуватися основними положеннями:

1) конструктивні шари повинні забезпечувати здатність дорожнього одягу витримувати розрахункове навантаження, бути водостійкими та морозостійкими;

2) для забезпечення підвищеного опору зсуву конструкції дорожнього одягу, запроектованого під розрахункове навантаження згідно з [55] груп А1, А2 та А3 (на ділянках зміни швидкості руху, а саме: гальмування або розгону) потрібно влаштовувати:

- дорожнє покриття з зсувостійких асфальтобетонів (асфальтобетони типу А); щебенево-мастикові асфальтобетони; асфальтобетони на основі нафтових дорожніх бітумів, модифікованих полімерами;

- верхній шар дорожньої основи з крупнозернистих асфальтобетонів (з вмістом щебеню не менше ніж 50 % від маси заповнювача) або асфальтобетони (з вмістом щебеню не менше ніж 40 % від маси заповнювача) виготовлені на бітумі нафтовому дорожньому, модифікованому полімером.

- для забезпечення надійності дорожнього одягу згідно [55], запроектованого під розрахункове навантаження груп А1, А2, потрібно передбачати влаштування шарів основи з щебенево-піщаних сумішей, укріплених неорганічним чи комплексним в'язучим.

Загальну товщину дорожнього одягу та товщину окремих конструктивних шарів визначають за розрахунком на міцність, морозостійкість й осушення. Якщо загальна товщина дорожнього одягу, що отримана з розрахунку на міцність, менша за товщину, встановлену за морозостійкістю, потрібно передбачити додаткові морозозахисні чи теплоізоляційні шари. У цьому випадку конструкцію дорожньої основи призначають одночасно з проектуванням морозозахисних і дренажних шарів. Якщо при конструюванні дорожнього одягу передбачено влаштування вирівнюючого шару, то його товщина не враховується під час розрахунку конструкції на міцність. Мінімальна товщина вирівнюючого шару має становити не менше двох з половиною максимальних зерен щебеню в асфальтобетоні [55].

При конструюванні дорожнього одягу шляхом раціонального підбору матеріалів для монолітних шарів та підґрунтовки необхідно забезпечити зчеплення шарів.

Для обмеження появи відображених тріщин товщину шарів з матеріалів, що містять органічне в'язуче та укладаються на шар дорожньої основи із матеріалів, оброблених неорганічним в'язучим, потрібно

приймати не меншою за товщину шару такої основи, якщо марка матеріалу шару становить М 40 і нижче [63].

При застосуванні у шарах дорожньої основи матеріалів, що містять неорганічні в'язучі та марка яких є вищою ніж М 40, потрібно передбачати нарізання поперечних деформаційних швів стискання через кожні 15 м або влаштування тріщинопереривального прошарку одного із типів: з армуючих синтетичних матеріалів; еластичних матеріалів, влаштованих за мембранною технологією; з щебенево-піщаних сумішей щільного зернового складу при рекомендованій товщині прошарку від 0,10 м до 0,14 м [63].

При проектуванні шару дорожньої основи з матеріалу, обробленого комплексним бітумомінеральним в'язучим, товщина розташованих вище шарів із матеріалів, що оброблені органічним в'язучим, може бути знижена на 30 %.

Для забезпечення стабільної роботи конструкції дорожнього одягу при сезонному коливанні погодно-кліматичних факторів, необхідно забезпечити стабільність фізико-механічних властивостей робочого шару земляного полотна. Проектні рішення повинні бути спрямовані на регулювання водно-теплового режиму та збільшення міцності робочого шару земляного полотна в розрахунковий період, зокрема, повинно передбачатися:

- влаштування робочого шару земляного полотна з ненабухаючих або слабонабухаючих ґрунтів із забезпеченням необхідних коефіцієнтів ущільнення згідно з [55];

- влаштування спеціальних прошарків (дренувального, капіляропереривального, гідроізолювального) для регулювання водно-теплового режиму земляного полотна;

- обробка робочого шару земляного полотна мінеральним в'язучим, у тому числі з застосуванням добавок.

Для зменшення просочення поверхневих вод у дорожню основу і зниження вологості ґрунту земляного полотна при конструюванні дорожнього одягу необхідно передбачати:

- забезпечення поперечного похилу узбіч згідно з[55];
- влаштування системи поверхневого водовідведення;
- підвищення поверхні дорожнього покриття над рівнем поверхневих вод згідно з [55].

Дренувальні шари потрібно проектувати на ділянках з робочим шаром земляного полотна, влаштованим із середньоздимальних або сильнотдимальних ґрунтів. Для дренувальних шарів потрібно використовувати матеріал з коефіцієнтом фільтрації не менше ніж 1 м/добу або 2 м/добу.

У зазначених нижче випадках необхідно також влаштовувати дренувальний шар:

- у I і IV дорожньо-кліматичних зонах при всіх типах місцевості за зволоженням;
- у II дорожньо-кліматичній зоні при 2-му та 3-му типах місцевості за зволоженням;
- у III дорожньо-кліматичній зоні при 3-му типі місцевості за зволоженням.

Якщо нижній шар дорожньої основи передбачається влаштовувати з матеріалу, який укріплений в'язучим, необхідність влаштування додаткового шару, що дренує вологу, визначають розрахунком на осушення дорожнього одягу і земляного полотна.

Якщо дренуючий шар влаштовується на спуску з поздовжнім похилом більшим за поперечний похил, то в цьому шарі необхідно влаштовувати перехоплюючий дренаж в інтервалі від 75 м до 100 м у вигляді трубчастих перфорованих дрен та з крупноуламкових матеріалів з відведенням води за межі укосів земляного полотна.

Під час нового будівництва або реконструкції (при можливості) автомобільних доріг дренажні шари потрібно проектувати на всю ширину земляного полотна; під час реконструкції та капітального ремонту - від існуючої конструкції дорожнього одягу з виходом на укріплені від розмиву укоси насипу або з укладанням трубчастих дренажів чи інших водовідвідних пристроїв.

Для додаткових морозозахисних шарів потрібно застосовувати стабільні зернисті матеріали (які не змінюють свого об'єму при промерзанні у зволоженому стані); ґрунти, укріплені органічними чи неорганічними в'язучими; неткані синтетичні матеріали, а також ґрунти з низькою відносною деформацією здирання (0,01 - 0,035).

При влаштуванні додаткового морозозахисного шару з зернистих матеріалів з коефіцієнтом фільтрації понад 1 м/доб він може виконувати функцію дренажного шару.

Додатковий шар основи в місцях зміни конструкції, у зв'язку зі зміною матеріалів, ґрунтово-гідрологічних та інших умов, повинен забезпечувати рівень здирання не вищий ніж рівень на суміжних ділянках. Це досягається заміною матеріалу морозозахисного шару дорожньої основи або регулюванням товщини цього шару.

Капілярнопереривальні прошарки потрібно проектувати при близькому заляганні ґрунтової води, коли її рівень розташований вище ніж глибина промерзання, або при тривалому підтопленні (понад 30 діб) поверхневими водами, при недостатньому підвищенні поверхні покриття над розрахунковим рівнем води згідно з [55].

Під час нового будівництва автомобільних доріг або реконструкції (за можливості) капілярнопереривальні прошарки потрібно влаштовувати товщиною від 0,10 м до 0,15 м на всю ширину земляного полотна, під час реконструкції та капітального ремонту - від існуючої конструкції дорожнього одягу. Для влаштування капілярнопереривального прошарку застосовують пісок, щебінь або гравій обгорнуті у геосинтетичний матеріал.

Для запобігання взаємопроникненню матеріалів суміжних шарів на контакті шарів із крупнозернистих дисперсних матеріалів з піщаними шарами дорожньої основи чи з ґрунтом земляного полотна потрібно передбачати застосування геосинтетичних матеріалів або влаштування додаткового шару основи з піщано-гравійних сумішей чи місцевих кам'яних матеріалів.

У разі потреби розширення існуючого дорожнього одягу при реконструкції або капітальному ремонті, проектування дорожнього одягу на розширенні виконується відповідно до вимог цих норм як для проектування конструкції дорожнього одягу для нового будівництва.

При розширенні проїзної частини необхідно передбачати надійну ув'язку існуючого дорожнього одягу з частиною, яка розширюється, забезпечуючи рівномірну міцність та технологічність влаштування.

Для ув'язки дорожнього одягу при розширенні, з різницею в міцності до 10 %, необхідно влаштовувати в існуючому дорожньому одязі (тільки в бітумовміщуючих матеріалах) уступи шириною 0,5 м та глибиною рівною товщині конструктивного шару, для якого цей уступ влаштовано.

У випадку різниці в міцності існуючого дорожнього одягу та конструкцією розширення (10 - 20) % доцільно використовувати геосинтетичні матеріали для запобігання появи відображених тріщин.

Розрахунок нежорсткого дорожнього одягу виконують за критеріями:

- опір пружному прогину всієї конструкції (за мінімальним допустимим загальним модулем пружності);
- опір зсуву в ґрунті та шарах з незв'язних або малозв'язних матеріалів (за максимальним допустимим напруженням зсуву);
- опір шарів з монолітних матеріалів розтягу при згині (за максимальним допустимим напруженням на розтяг при згині).

При розрахунках дорожнього одягу враховується тривалість і повторність дії навантажень від транспортних засобів. Дорожній одяг на

перегінних ділянках доріг розраховують на короточасну багаторазову дію рухомих навантажень. Тривалість дії навантаження від рухомого автотранспорту приймають рівним 0,1 с.

Дорожній одяг на зупинках громадського транспорту, перехрещеннях доріг, на підходах до пересічень із залізничними і трамвайними коліями, розраховують на багаторазову короточасну дію рухомого навантаження, а також на тривале статичне навантаження, час дії якого приймають рівним 600 с.

Дорожній одяг на стоянках автотранспортних засобів розраховують на тривале статичне навантаження.

Під час проектування дорожнього одягу автомобільної дороги за розрахункове навантаження потрібно приймати найбільше навантаження на вісь автотранспортних засобів, систематичний рух яких очікується в найбільш несприятливий для роботи дорожнього одягу період року (погодно-кліматичні фактори, що призводять до зменшення модулів пружності асфальтобетону, зменшення опору зсуву ґрунтів земляного полотна та незв'язних шарів дорожньої основи).

Розрахунок дорожнього одягу здійснюють за групами нормативних навантажень у залежності від категорії автомобільної дороги згідно з [55] :

- група А1 - нормативне статичне навантаження на вісь 130 кН;
- група А2 - нормативне статичне навантаження на вісь 115 кН;
- група А3 - нормативне статичне навантаження на вісь 100 кН;
- група В - нормативне статичне навантаження на вісь 60 кН.

Розрахункове навантаження групи А1 приймають до розрахунку дорожнього одягу на автомобільних дорогах І-а, І-б, якщо у розрахунковий період передбачається рух транспортних засобів з навантаженням на вісь понад 120 кН у кількості більше ніж 500 авт/добу, а для ІІ категорії - понад 150 авт/добу. Розрахункове навантаження групи В приймають до розрахунку дорожнього одягу на автомобільних дорогах V категорії, якщо

у розрахунковий період передбачається рух транспортних засобів з навантаженням на вісь понад 60 кН у кількості менше ніж 10 авт/добу [63].

Висновки до розділу 1

1. Дренуючий асфальтобетон є перспективним дорожньо-будівельним матеріалом, застосування якого може підвищити безпеку руху на автомобільних дорогах, а також зменшити шум від транспорту.

2. Проведено аналіз існуючого досвіду використання дренуючого асфальтобетону, умов його застосування. Проаналізовано теоретичні дослідження процесу формування асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор.

3. Аналіз особливостей проектування дренуючих асфальтобетонів свідчить, що цей матеріал відноситься до спеціальних видів асфальтобетонів, який за рахунок особливостей гранулометричного складу суміші (біля 90 % становить однофракційний щебінь), на відміну від типових щільних і щебенево-мастикових асфальтобетонів, має достатньо велику пористість.

4. Проектування складу асфальтобетонної суміші для дренуючого асфальтобетону включає підбір вихідних матеріалів, підбір оптимального їх співвідношення в асфальтобетонній суміші, підбір оптимального вмісту в'язучого та оцінювання водостійкості зразків дренуючого асфальтобетону.

5. До мінеральних заповнювачів встановлюються дуже жорсткі вимоги. Крупний заповнювач для дренуючих асфальтобетонів повинен бути достатньо міцним, щоб витримувати транспортні навантаження, оскільки дренуючий асфальтобетон складається із заповнювача однакового розміру з малим вмістом дрібних часток і має структуру «камінь на камені».

6. Для виробництва асфальтобетонних сумішей з дренуючого асфальтобетону, треба використовувати бітумне в'язуче, яке є на одну-дві, марки нижче за марку бітумного в'язучого, яке зазвичай використовують в районі будівництва.

7. Асфальтобетонні суміші для дренуючого асфальтобетону мають обмежений час транспортування, що пов'язано з можливим їх охолодженням, яке призведе до нерівномірного ущільнення суміші, а також з стіканням в'язучого, яке стає причиною неоднорідності асфальтобетонної суміші.

8. Дренуючу асфальтобетонну суміш треба укладати лише на непроникному покритті, якщо тільки покриття не буде спеціально розроблене для проникнення.

9. Покриття з дренуючого асфальтобетону було створено для збільшення безпеки на дорогах, але крім високих зчіпних характеристик вони володіють і рядом інших переваг. Висока пористість забезпечує водопроникність, що зменшує кількість поверхневої води і, таким чином, зменшує утворення бризок при дощовій погоді. Це веде до зниження ризику аквапланування і збільшення видимості на дорогах, а в кінцевому підсумку - до підвищення рівня безпеки автомобільних доріг. Крім того, особлива текстура поверхні дренуючого асфальтобетону сприяє зменшенню шуму, що виникає при взаємодії шини з покриттям.

10. Вважаючи на низку притаманних цьому асфальтобетону властивостей і переваг, які він забезпечує в частині підвищення безпеки і комфорту дорожнього руху, можна стверджувати, що дренуючий асфальтобетон – перспективний дорожньо-будівельний матеріал.

Результати досліджень першого розділу викладено у наступних публікаціях: [1, 25, 26, 28].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вплив природніх факторів на конструкцію автомобільних доріг

Підвищення безпеки дорожнього руху за складних погодних умов є багатоплановим завданням. Вирішувати його потрібно багатьма факторами, але одним з основних шляхів є удосконалення конструкції автомобільних доріг. Основними засобами поліпшення умов руху і підвищення його безпеки за складних погодних умов і в несприятливі періоди року є: усіляке підвищення технічної досконалості автомобільних доріг, якості їхнього утримання й організації руху. Чим вищий рівень технічної досконалості дороги, тим менший вплив на її стан несприятливих метеорологічних чинників і менше зусиль від служби експлуатації потрібно для підтримки заданого рівня зручних і безпечних умов руху.

Автомобільна дорога, як і будь-яка інженерна споруда, ще під час проектування повинна бути розрахована на забезпечення нормальних умов функціонування в несприятливі періоди року, у складній погодній обстановці. На жаль, на стадії проектування не завжди робиться усесторонній аналіз можливої зміни стану доріг з погляду умов руху в несприятливі періоди року й за складних погодних умов. Тому в проектах не завжди передбачається і не аналізується доцільність конструктивних та інженерних рішень, спрямованих на нейтралізацію або зменшення негативного впливу метеорологічних явищ. Як наслідок, дуже часто забезпечення високих транспортно-експлуатаційних характеристик доріг у процесі експлуатації доводиться вирішувати тільки дорожньо-експлуатаційній службі.

Для проведення аналізу стану та організації ремонту й утримання автомобільних доріг у складних погодних умовах доцільно виділити зимовий та перехідні періоди — осінь, весна. Дослідження багатьох учених

дають підставу вважати, що з великого числа метеорологічних чинників на стан доріг і умови руху в осінньо-весняний і зимовий періоди найбільше впливають опади (дощ, сніг), метеорологічна видимість (туман, імла, хмарність), ожеледь, вітер і особливо одночасна взаємодія декількох з них.

Безумовно, головним метеорологічним чинником, що визначає стан доріг не тільки в осінньо-зимово-весняний, але й у літній періоди, є опади, їхня інтенсивність, тривалість і повторюваність. Відмінною рисою перехідних періодів є зростання тривалості післядії опадів, що пояснюється підвищеною вологістю повітря і низькою випаровуваністю в ці періоди через невисокі температури повітря. Під післядією розуміється спроможність деяких метеорологічних чинників негативно впливати на дорогу після того, як самого чинника не стало. Так, опади негативно впливають на дорогу не тільки в період їхнього випадання, але й протягом певного часу після їх припинення. В осінній та весняний періоди тривалість післядії опадів збільшується в 3- 5 разів у порівнянні з літнім періодом. Якщо врахувати, що в цей час зростає ще й тривалість випадання самих опадів, стає зрозумілим, чому за порівняно невеликої різниці в обсязі дощів у літній та перехідні періоди стан доріг значно відрізняється. У перехідні періоди тривалість і післядія опадів настільки зростають, що дорога знаходиться у вологому стані протягом значної частини осінньо-весняного сезону.

Згідно з [69] до природних факторів, що впливають на довговічність дороги, належать рельєф місцевості, ґрунтово-геологічні та кліматичні умови. Рельєф місцевості визначає тип земляного полотна (насипи, виїмки, косогірність) і вид водовідвідних споруд. Він впливає на характер стоку води, міри зволоження місцевості, вартості спорудження земляного полотна та способи виконання земляних робіт. Ґрунтово-геологічні умови характеризуються геологічною будовою ґрунтової товщі, видом і фізико-механічними властивостями ґрунтів та впливають на стійкість насипів і виїмок на крутих ухилах. Якщо дані умови вважаються несприятливими,

трасу переносять в інше місце чи проектують заходи, що підвищують стійкість земляного полотна (підпирні стінки, укисні дренажі, тунелі та ін.). Кліматичні умови характеризують рівень опадів, вологість повітря, добові й річні зміни температури, напрямок вітрів, товщину снігового покриву, глибину промерзання ґрунту та ін. Від кліматичних умов (кількості опадів за місяцями, товщини снігового покриву, напрямку та швидкості вітру, кількості хуртовин, температури повітря і землі, кількості днів з ожеледдю й т. ін.) залежать міра зволоження земляного полотна, заносимість снігом чи піском, а також способи укріплення укосів від розмивання чи вивітрювання.

Перелічені умови створюють певний водно-тепловий режим земляного полотна. Водно-тепловий режим (ВТР) – це закономірності зміни протягом року вологості й температури в придорожньому шарі повітря, у шарах дорожнього одягу і ґрунті земляного полотна. Від водно-теплого стану земляного полотна і дорожніх одягів залежать їхні міцність і морозостійкість, а в кінцевому результаті рівність і термін служби дороги. Характеристики ВТР за сезонами наведені на рисунку 2.1, а зміна експлуатаційних якостей дорожнього одягу – на рисунку 2.2.

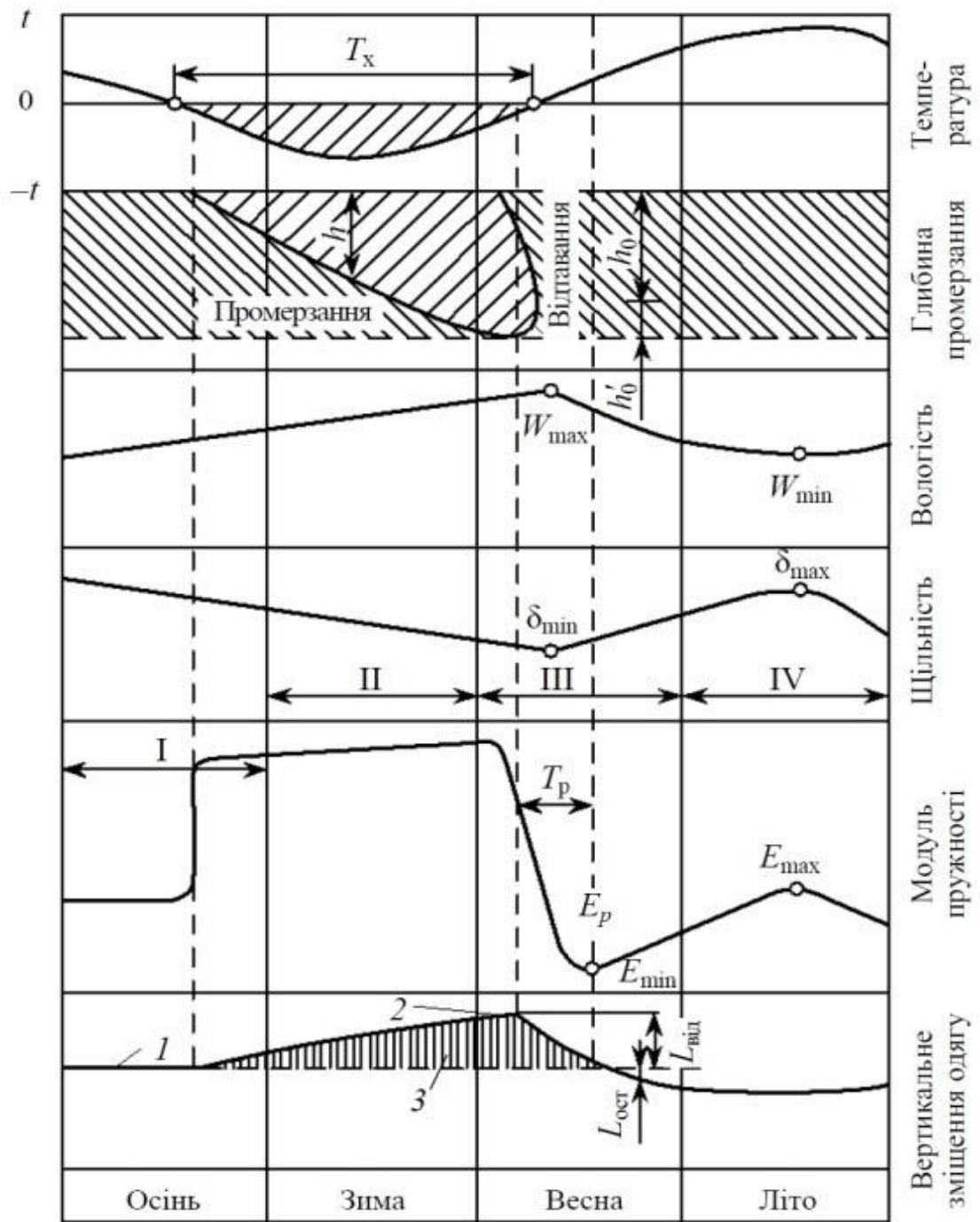


Рисунок 2.1 – Закономірності сезонних змін водно-теплового режиму: I-IV – періоди; 1 – стан дорожнього одягу до промерзання; 2 – у кінці промерзання; 3 – пучиноутворення; T_x – холодний період; T_p – розрахунковий період; $L_{\text{від}}$ – деформація відтавання; $L_{\text{ост}}$ – остаточна деформація

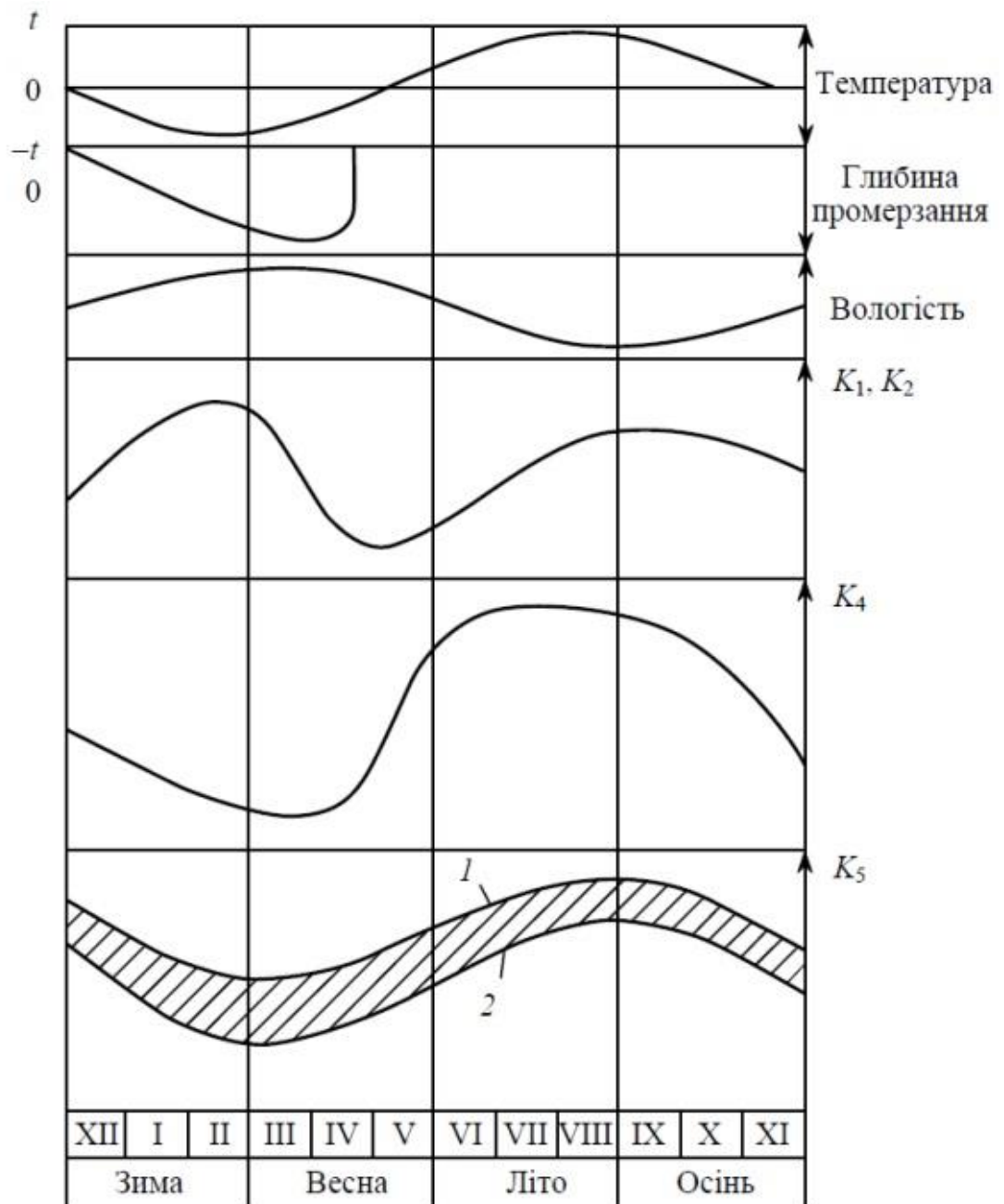


Рисунок 2.2 – Схема сезонної зміни коефіцієнта експлуатаційних якостей дорожнього одягу: 1 – максимальне значення; 2 – мінімальне значення

Існують такі основні періоди природнього впливу на конструкції дорожнього одягу:

1. Осінь (вересень – листопад). Відбувається накопичення вологи в земляному полотні і нижніх шарах дорожнього одягу. Вологість ґрунтів

досягає до 0,7 від границі текучості. Ґрунт розуцільнюється. Модуль пружності дорожнього одягу зменшується.

2. Зима (грудень – лютий): промерзання земляного полотна, що супроводжується припливом вологи від рівня підземних вод до фронту 13 промерзання. Фронт промерзання опускається до глибини 0,5... 1,0 м (для умов України). За високих рівнів ґрунтових вод і за наявності у ґрунті пилюватих і глинистих частинок зростає пучинистість ґрунтів. Через неоднорідність складу, щільності і вологості ґрунтів відбувається неоднорідне випинання, що ускладнює, а часто й зовсім унеможлиблює рух транспорту, руйнує дорожній одяг. Пучинистість зростає за малої швидкості промерзання ґрунту і може досягти 50...60 см і більше. Загальний модуль пружності дорожнього одягу підвищується внаслідок промерзання верхнього шару земляного полотна і нижніх шарів основи.

3. Весна (березень – квітень, початок травня). Відтаювання земляного полотна. Ґрунт відтаює в першу чергу під дорожнім одягом, особливо якщо узбіччя присипані снігом. Ґрунт найбільше перезволожений. Вологість досягає границі текучості. Коефіцієнт ущільнення знижується до 0,85. Міцність дорожнього одягу мінімальна. У місцях зимових пучин руйнується дорожній одяг, утворюються осідання і проломи, матеріали дорожнього одягу перемішуються з ґрунтом.

4. Літо (травень – серпень). Просихання земляного полотна. Ґрунт перебуває в найбільш щільному й міцному стані.

Для виконання практичних завдань прогнозування і забезпечення довговічності доріг, а також при впровадженні нових типів асфальтових покриттів, важливо розуміти процес накопичення вологи у конструктивах дороги. Процес початкового накопичення вологи визначається потужністю і тривалістю дії джерел зволоження. На практиці вирізняють чотири основні групи джерел зволоження (рисунок 2.3):

1) зволоження дорожньої конструкції атмосферними водами. Джерелами зволоження тут можуть бути: несущість дорожнього одягу

(втрата суцільності внаслідок тріщинуватості чи взагалі водопроникна структура одягу), дефекти зони сполучення проїзної частини з узбіччям, просочування в зоні узбіч і укосів і т. ін.;

2) незабезпеченість поверхневого стоку. Земляне полотно зволожується в результаті насичення ґрунту водою і капілярного підняття. Треба пам'ятати, що внаслідок відносно довгого – більше від тижня – стояння вод у бічних водовідвідних системах у земляному полотні через горизонтальну міграцію води формується тимчасова крива дисперсії f , через яку невисоке земляне полотно може зволожуватись аж до підшови одягу;

3) зволоження конструкції за рахунок капілярного підняття. Ця група джерел зволоження значуща тоді, коли рівень капілярного підняття заходить у межі глибини активної зони. За глибину активної зони в дорожній практиці беруть відстань від поверхні одягу до горизонтальної площини в тілі полотна, на рівні якої вертикальна складова напружень від тимчасових навантажень по осі їх дії становить 0,1 вертикальних напружень від власної маси конструкції;

4) зволоження пароподібною і плівковою водою. Ця група джерел найбільш підступна. З одного боку, процес зволоження у цьому разі візуально не контролюється і через це на практиці важко діагностується. З іншого боку, ця група зволоження призводить, як правило, до спонтанного руйнування дорожньої конструкції.

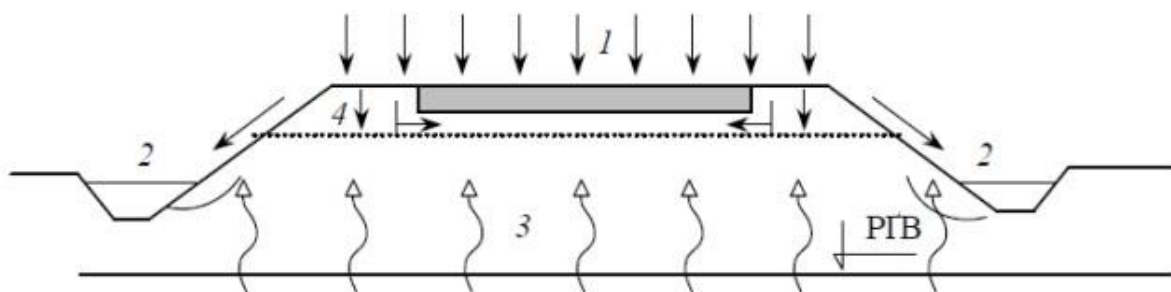


Рисунок 2.3 – Основні джерела зволоження дорожнього одягу і земляного полотна: 1 – атмосферні опади; 2 – вода в канавах; 3 – підземна вода; 4 – пароподібна волога

ВТР доріг закономірно змінюється в річному періоді. На траєкторіях його змін у різних природно-кліматичних умовах можна виділити чотири характерних періоди роботи дорожнього одягу і земляного полотна.

У першому періоді (осінь, до початку промерзання земляного полотна) відбуваються процеси охолодження одягу і земляного полотна, інтенсивного зволоження атмосферними опадами, дифузія водяної пари до основи одягу. Вологість ґрунту полотна зростає, щільність і модуль пружності знижуються.

Другий період (холодний) характеризується подальшим охолодженням дорожньої конструкції і утворенням мерзлого ґрунту. На кінець холодного періоду відзначаються найбільша сезонна вологість ґрунту і найменша його щільність.

Третій період – відтавання ґрунту. Шари одягу і земляного полотна інтенсивно прогріваються. У процесі нерівномірного відтавання виникають фазові перетворення вологи й інтенсивний її перерозподіл у талому і мерзлому ґрунті. Через практичну водонепроникність мерзлого ґрунту над ним може виникати шар сильно перезволоженого ґрунту з практично нульовою несучою здатністю. У цей період найбільш імовірним є виникнення просідань, проломів та інших деформацій дорожнього одягу.

Четвертий період – це зниження вологості ґрунту полотна за рахунок його просихання, період нормалізації щільності і міцнісних показників ґрунту. Після завершення цих процесів настає найбільш сприятливий період роботи дорожньої конструкції.

Оскільки ВТР доріг значно впливає на особливості їх служби, їхній експлуатаційний стан та можливості виконання ними завдань забезпечення ефективної роботи рухомого складу, то однією з першорядних цілей дорожника-спеціаліста є опанування методів регулювання ВТР. Змінюючи або його умови, або сам вид ВТР, спеціаліст може досягти значних успіхів у поліпшенні роботи інженерних і транспортних споруд.

У процесі експлуатації доріг для підвищення безпеки руху в період дощів у першу чергу необхідно забезпечити швидкий відвід води з поверхні покриття, очищення його від пилу та бруду, усунення нерівностей, влаштування шорсткої поверхневої обробки, укріплення узбіч.

Впровадження дренуючого асфальтобетону в якості шару зносу може вирішити першочергові проблеми, пов'язані з відводом води, а в подальшому, завдяки своїм перевагам в плані видимості, зчеплення, аквапланування, підвищити комфортність, швидкість руху та безпеку на автомобільних дорогах України. Але, враховуючі призначення дренуючих асфальтобетонів, і важливість річної суми опадів і їх розподіл по місяцях, клімату на території держави, при їх конструюванні для початку треба розробити розподіл території на кліматичні райони роботи таких асфальтобетонів та районування в залежності від максимальної кількості зливових опадів.

2.2 Характеристика режиму зливових опадів території України

Важливим для дорожньої галузі є режим атмосферних опадів, їх річна кількість, сезонне і місячне розподіл, тривалість та інтенсивність окремих дощів. Під впливом опадів формується поверхневий стік, режим річок і робота водовідвідних споруд, відбуваються зволоження поверхні покриття і водонасичення земляного полотна, замети доріг снігом і ерозія неукріплених поверхонь насипів і виїмок. Розподіл опадів по сезону порізнному не тільки для різних місць, але і для одного і того ж місця в різні роки. Для судження про режим роботи дорожніх служб і про умови будівельного сезону слід знати число днів з опадами різної інтенсивності.

Як кількість атмосферних опадів, так і показники зволоження території із року в рік змінюються у великих межах. У Центральному Придніпров'ї протягом 1975 р. (сухий рік) випало менше 280 мм, а в 1978 р. (вологий рік) – близько 600 мм. Мінливість місячних сум ще більша. Так, у

районі Одеса-Херсон протягом червня випадає в середньому 46-47мм, але в окремі роки їх випадає 113-129 мм, а сухого року 0-2 мм. Подібний розмах коливання опадів характерний для усіх місяців.

Опади розподіляються на території України нерівномірно. Кількість їх змінюється залежно від пори року, рельєфу, географічного положення місцевості та інших факторів. Найбільше опадів випадає у гірських районах Карпат (в окремих районах понад 1500 мм), найменше — на узбережжях Чорного та Азовського морів (близько 300—350 мм). Пересічна кількість опадів у Поліссі становить 550—700, у Лісостепу — 600—450 мм/рік. У Поліссі та Лісостепу спостерігається поступове зменшення кількості опадів у напрямі з заходу на схід. У степовій зоні в північних районах випадає 450—475, а найменше (300— 350 мм/рік) у південних низовинних районах морського узбережжя. У степовій частині Криму кількість опадів зростає у напрямі на південь до Кримських гір (до 470—500 мм/рік). У Кримських горах випадає понад 1000, на Південному березі Криму — 550—600 мм/рік. У теплу пору року опадів випадає у 2—3 рази більше, ніж в холодну. Винятком є Південний берег Криму, де найбільша кількість опадів припадає на холодну пору року. Для України характерні значні коливання кількості опадів у різних районах у різні роки. Найбільша сума опадів у Карпатах — 2200, а найменша — 800 мм/рік. Кількість днів з опадами в Карпатах та Кримських горах досягає 180, у Поліссі та на півночі Лісостепу — 190, на півдні Лісостепу—120—140, у південному степу — 100—120, на морських узбережжях — 100 мм/рік. Опади перебувають у прямій залежності з хмарністю.

Основним методом кліматологічного опрацювання спостережень є метод середніх розмірів. Відповідно до цього методу, клімат тієї або іншої місцевості характеризується річним ходом (від місяця до місяця) середніх і крайніх значень атмосферного тиску, температури і вологості повітря, опадів, повторювальністю різноманітних напрямків вітру, хмарності і різноманітних явищ погоди (снігу, дощу, туманів, гроз і ін.). За матеріалами

спостережень метеорологічних станцій обчислюються середні багаторічні розміри і їхня повторювальність по місяцях для зазначених елементів. Дані, систематизовані за допомогою цього методу, заносяться на карти і служать для кліматологічних узагальнень. Одним із показників, що аналізується є кількість опадів. Кількість опадів вимірюється товщиною шару води в міліметрах, який міг би утворитися внаслідок їх випадання на горизонтальну поверхню при відсутності випаровування і просочування в ґрунт. Для вимірювання кількості опадів використовують дощомір (металевий циліндр заввишки 40 см і площею поперечного перерізу 500 см² із вставленою діафрагмою 'для запобігання випаровування). Опадомір відрізняється від дощоміра спеціальним захистом. Тверді опади (сніг, град, крупа) попередньо розтоплюють. Кількість води, що попала в дощомір, вимірюють за допомогою скляної циліндричної посудини, площа дна якої в 10 разів менша за площу дна дощоміра. Отже, коли шар води, зливої з дощоміра, на дні посудини дорівнює 20 мм, то це означає, що на поверхню Землі випав шар води заввишки 2 мм. Усі вимірювання кількості опадів підсумовують за кожний місяць і виводять місячну, а потім річну кількість опадів. Чим тривалішими є спостереження, тим точніше можна розрахувати середньомісячну і, відповідно, середньорічну норми опадів для цього місця спостережень.

Атмосферні опади випадають за певних умов з хмар – краплі і кристали які не можуть утримуватися в атмосфері. Виділяють рідкі і тверді опади. До перших відносять дощі, які поділяються на зливи і облогові дощі. Виділяють також паморозь.

Зливи це короткочасні дощі, великої інтенсивності. Розміри крапель 3-8мм. Час тривалості зливи від декількох хвилин до декількох годин.

Облогові дощі - дощі малої інтенсивності і тривалі у часі (декілька діб). Розміри крапель 0,5-3 мм.

Паморозь складається із крапель 0,05 - 0,5 мм із дуже малою швидкістю випадіння і легко переноситься вітром у горизонтальному напрямку.

До твердих опадів відносяться сніг, крупа, град.

При призначенні розмірів параметрів дренажних пристроїв основним питанням є визначення розрахункового питомого надлишку води, що надходить в дренажну систему. Джерелами надходження води є інфільтрат від атмосферних опадів та вода, що відтискається при розмерзанні ґрунту земляного полотна. В розрахунку інфільтрату прийняті два принципових підходи – визначення середньої кількості опадів, що надходять за розрахунковий період водно-теплогового режиму і пікові навантаження на дренажну систему. Виходячи з цього є потреба у визначенні як середніх значень кількості опадів, так і максимальних значень. Середньомісячні значення кількості опадів розраховані шляхом сумування кількості опадів та діленням на кількість днів коли спостерігались опади максимальні значення отримані шляхом аналізу вихідної метеорологічної та ручної вибірки з них максимальних значень.

Надходження вологи від атмосферних опадів слід встановлювати для кожного з трьох періодів окремо: осіннього, весняного та літнього. У кожному періоді слід проаналізувати різні типи опадів які вносять максимальний внесок у формування величини надходження води до дренажного шару. Для визначення пікових навантажень до розрахунків приймають зливи (тривалість T_z менше ніж 5годин, інтенсивність H_z від 10 мм/год до 20 мм/год) та злизові дощі (тривалість $T_{зд}$, більше 5 годин до 5 діб, інтенсивність $H_{зд}$ від 2 мм/год до 10 мм/год). За даними статистичних метеорологічних спостережень слід визначити для злизових дощів (тривалістю понад добу) $i_{зд5}$ – інтенсивність злизових дощів 5% забезпеченості, мм/хв. Для визначення інтенсивності опадів слід за даними метеорологічних спостережень приймати тривалість опадів певного терміну спостережень $T_{зді}$, хв та загальну кількість опадів одного дощу того ж

терміну спостережень $N_{зді}$, мм. Для отриманих значень $i_{зді}$ слід визначити значення $i_{зд5}$ - інтенсивність зливових опадів 5% забезпеченості, мм/хв. За даними статистичних метеорологічних спостережень визначають для злив (короткочасні дощі, тривалість менше ніж 5 годин) – інтенсивність $i_{з5}$, мм/хв.

2.2.1 Поняття про коефіцієнт зволоження території

Кількість атмосферних опадів дає лише деяку уяву про зволоження території. Якщо порівнювати різні території, то на основі кількості атмосферних опадів можна прийти до помилкових висновків. Для детальної характеристики умов зволоження території потрібно порівнювати опади (Н) з випаровуваністю (Е).

$$K = H/E, \quad (2.1)$$

де К – коефіцієнт зволоження території; Н – кількість опадів, Е - випаровуваність.

Він показує, яку частину випаровуваності компенсують атмосферні опади. Якщо опади більші від випаровуваності, то це умови надмірного зволоження. Якщо ж вони менші ніж випаровуваність, то ця територія недостатньо зволожена. М.М. Іванов визначає випаровуваність (мм) за формулою:

$$E = 0,0018 (t+25)^2(100-f), \quad (2.2)$$

де t – середня місячна температура, f – середня місячна відносна вологість повітря за кожен місяць окремо.

Склавши помісячні дані разом одержуємо випаровуваність протягом року. На відміну від решти дослідників, М.М. Іванов виражає коефіцієнти

зволоження території у відсотках. Якщо коефіцієнт зволоження території протягом усіх місяців більше 100%, то цю місцевість відносять до постійно вологого клімату. Якщо ж K менше 100% протягом кількох місяців, то місцевість відносять до не постійно вологого клімату, якщо величина K між 25 і 100% протягом усіх місяців – це постійно помірно вологий клімат, при K менше 25% у частини місяців – не постійно посушливий клімат, при K менше 25% протягом усіх місяців – постійно посушливий клімат. Можливі варіанти, що частина місяців буде вологою, а друга частина – посушливою. Залежно від того, який період буде тривалішим, одержимо волого-посушливий або посушливо-вологий клімат. М.І. Будико зволоження території визначає за допомогою радіаційного індекса сухості території (K) для усього року:

$$K=B/LE, \quad (2.3)$$

де B – річне значення радіаційного балансу території, L – приховане тепло випаровування, E – річна сума опадів, а LE – витрати тепла на випаровування.

Радіаційний індекс сухості K показує, яка частина радіаційного балансу витрачається на випаровування опадів. При K менше 0,45 – це надмірно вологий клімат, при K 0,45-1 – вологий клімат, при K 1-3 – недостатньо вологий клімат, при K більше 3 – сухий клімат. У першому випадку величина радіаційного балансу мала для того, щоб випарувалась уся волога атмосферних опадів у даній місцевості. В останньому випадку опадів дуже мало по відношенню до радіаційного балансу. Наведені показники зволоження території використовуються відносно мало. У практиці визначення показників зволоження території для широко розповсюджений гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянінова (ГТК):

$$ГТК \text{ (або } K) = H/0,1 \sum t, \quad (2.4)$$

де H – опади за місяць, за 3 місяці або за період, $\sum t$ – суми середньодобових температур повітря за той же час.

Коли ми складемо середньодобові температури повітря кожного дня за вказані періоди, то ж одержимо $\sum t$. Г.Т. Селянінов показав, що величина $0,1\sum t$ дуже близька до випаровуваності. Коли K більше 1,3 це умови надмірного зволоження, коли $K=1,3-1,0$ – умови достатнього зволоження, коли K менше 1 – умови недостатнього зволоження, коли K менше 0,5 – посушливі умови. Величина ГТК змінюється залежно від тривалості періоду, за який його визначено. Коефіцієнт зволоження території Д.І. Шашко:

$$K=H/\sum d, \quad (2.5)$$

де H – опади за рік мм; $\sum d$ – сума середньодобових дефіцитів насичення (гПа) за той же період. Якщо K перевищує 0,60, то це умови надмірного зволоження, коли $K=0,45-0,60$ умови достатнього зволоження, коли K менше 0,45 – умови недостатнього зволоження, коли K менше 0,15 – вкрай посушливі умови.

2.2.2 Застосування довідникових даних для визначення інфільтрації води від атмосферних опадів

Відповідно до встановлених меж розрахункових періодів (осіннього, весняного та літнього), керуючись рекомендаціями [100] вже було визначено основні метеорологічні показники для розрахунку надходження води від атмосферних опадів з урахуванням режиму опадів за методиками визначення середньозважених та пікових навантажень на дренажну систему. Метод визначення питомого надлишку інфільтраційної води від

атмосферних опадів пікового та середньозваженого режимів наведено у вигляді структурної схеми на рисунку 2.4.

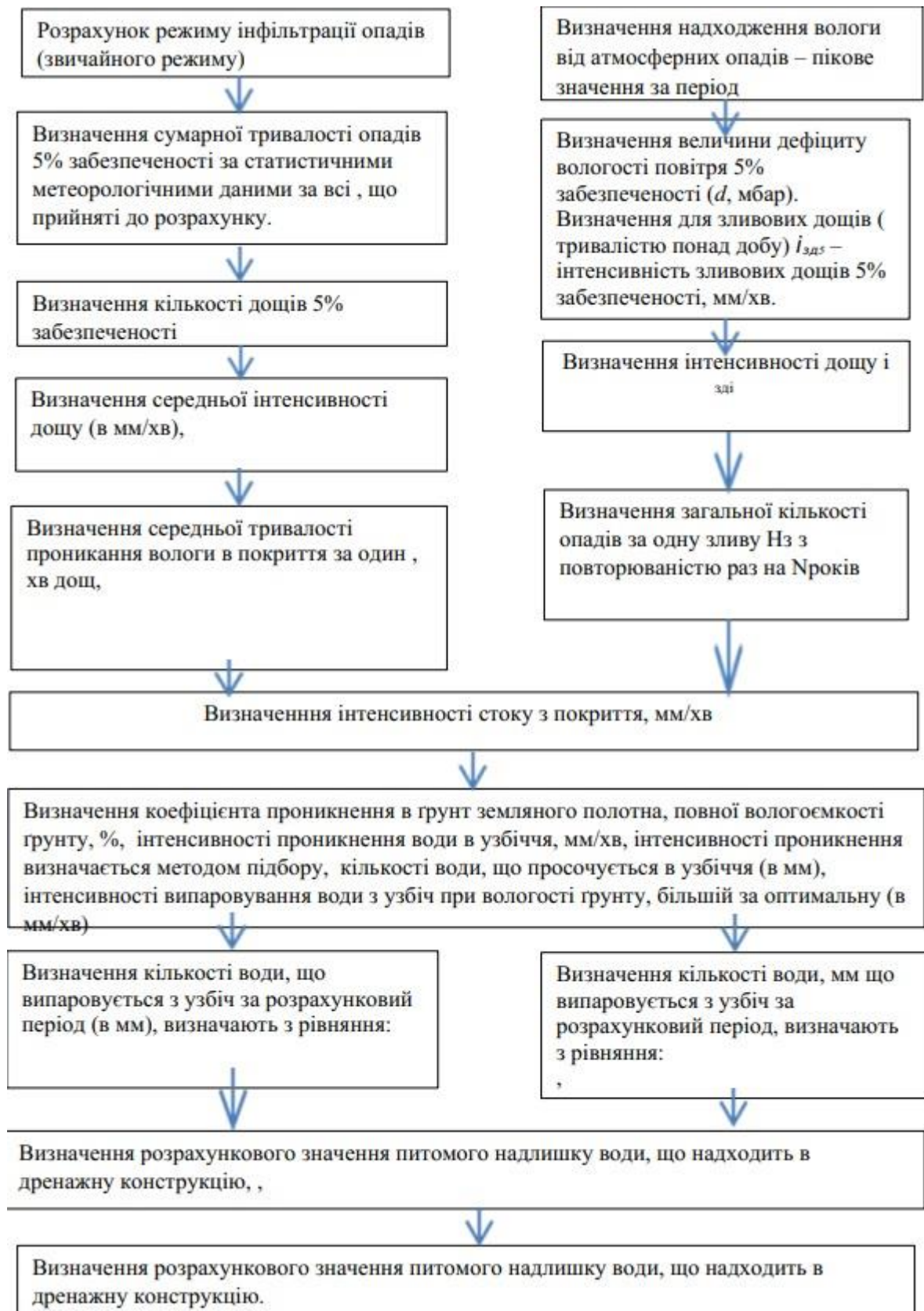


Рисунок 2.4 – Структурна схема методу визначення питомого надлишку інфільтраційної вологи від атмосферних опадів пікового та середньозваженого режимів

Для розрахунку режиму середньозважених опадів слід користуватися табличними даними «Середня сумарна тривалість опадів» та «Середня інтенсивність дощу». Для розрахунку режиму зливових дощів слід користуватися табличними даними «Розрахункова інтенсивність зливого дощу», «Загальна кількість опадів за одну зливу» та «Тривалість злив». Загальними для обох розрахунків є табличні значення «Дефіцит насичення (вологості)» та «Інтенсивність випаровування води з узбіч».

Для визначення пікових навантажень використовують табличні значення величину дефіциту вологості повітря (d , мбар), інтенсивність зливого дощу, загальну кількість опадів за одну зливу N_z та Тривалість злив T_z , за наведеним вище алгоритмом, із врахуванням, що T_d – розрахункова тривалість дощу (для зливи – T_z , для зливого дощу – T_{zd}), i_d – розрахункова інтенсивність дощу (для зливи – i_{z5} , для зливого дощу – i_{zd5}) та із коригуванням залежностями (6.28 - 6.33) [100].

2.3 Метод розрахунку необхідної товщини покритву із дренуючого асфальтобетону

Дренуючі асфальтобетони передбачають з метою забезпечення високої експлуатаційної безпеки завдяки усуванню з поверхні покриття скупчення водяних плям, які знижують зчеплення коліс з дорожнім покриттям.

Від звичайний щільних асфальтобетонних сумішей дренуючі асфальтобетонні суміші відрізняються за зерновим складом, вмістом в'язучого та його природою, а також модифікуючими добавками. Найбільш сприятливими умовами для експлуатації для дренуючих покриттів є такі, що

відповідають водно-тепловому режимові теплого періоду року. Тому, для можливості ефективної експлуатації таких покриттів у природних умовах України, що характеризуються досить тривалим холодним періодом з пониженими температурами потрібні водостійкі асфальтобетони.

При проектуванні конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу з дренажним асфальтобетоном, як вже було проаналізовано, виконують основні принципи проектування відповідно до [63]. При цьому необхідно враховувати максимальну інтенсивність зливових опадів.

Для забезпечення водонепроникності основи та належного зчеплення з нею дренажного асфальтобетонного покриття обов'язковою умовою є нанесення підґрунтовки бітумною емульсією. Це дозволяє згерметизувати пори в шарі основи та в подальшому не допускає потрапляння через дренажний асфальтобетон води в нижче розміщені шари.

Однією з основних задач дренажного асфальтобетону є відведення води з покриття. Саме на основі даних щодо опадів впродовж року, розраховують необхідну товщину дренажного асфальтобетону. Але, на сьогодні, в Україні недостатньо інформації, нормативних документів, довідників та іншої нормативної бази щодо даного типу асфальтобетонів.

Вироблену за звичайною технологією високопористу асфальтобетонну суміш влаштовують на щільний асфальтобетон і ущільнюють виключно гладковальцевими самохідними котками. Найкращу дренажну здатність ущільнений шар має при товщині не менше ніж 4 см.

У роботах [1,2] проаналізовано інформацію, нормативно-технічну базу європейських країн, властивості та принципи, проведено деякі експериментальні дослідження та визначено, що товщину шару з дренажного асфальтобетону треба призначати з урахуванням максимальної кількості зливових опадів в районі будівництва, поперечного та поздовжнього похилу основи, а також дренажних властивостей дренажного асфальтобетону. Оскільки шар дренажного асфальтобетону

влаштовують як шар зносу, то для нього не встановлюють розрахункові характеристики.

Оскільки товщину шару з дренуючого асфальтобетону треба призначати з урахуванням кількості опадів в районі будівництва, поперечного та повздовжнього похилу основи, а також дренуючих властивостей, тому доцільно розглянути метод розрахунку необхідної товщини покриття в залежності від максимальної кількості зливових опадів, що дозволить накопичити дані для удосконалення та впровадження технології влаштування таких асфальтобетонів.

Так, рух води крізь дренуючий шар асфальтобетону є ламінарним та стаціонарним, що підпорядковується закону Дарсі, згідно з яким:

$$Q = K \cdot J \cdot A \quad (2.6)$$

де Q – кількість води, що може профільтруватись крізь пористе середовище, або його пропускна спроможність, м³/добу;

K – показник проникності пористого асфальтобетону, м/доба;

J – гідравлічний градієнт (загальний ухил водонепроникної основи покриття);

A – питома площа перерізу пористого шару асфальтобетонного покриття, $A = 1\text{ м} \cdot h$, м².

Результуючий ухил поверхні водонепроникної основи дорожнього покриття визначають за формулою:

$$J = \sqrt{I_{\text{поп}}^2 + I_{\text{позд}}^2} \quad (2.7)$$

де $I_{\text{поп}}$ – поперечний ухил водонепроникної поверхні покриття;

$I_{\text{позд}}$ – подовжній ухил водонепроникної поверхні покриття.

Отже:

$$Q = K \cdot J \cdot h \cdot 1\text{ м}.$$

$$h = \frac{Q}{K \cdot J \cdot 1\text{м}}, \quad (2.8)$$

Як відомо розрахункову інтенсивність i (мм/хв) дощу можна визначити за формулою:

$$i = \frac{20^n \cdot \Psi_{20} (1 + c \cdot \lg T)}{166,7 \cdot t^n}, \quad (2.9)$$

де n – показник ступеню, який характеризує зміну розрахункової інтенсивності дощу у часі;

Ψ_{20} – інтенсивність дощу тривалістю 20 хв при $T = 1$ рік;

c – коефіцієнт, який враховує кліматичні особливості районів України;

T – період повторності розрахункової інтенсивності дощу, який визначають за нормами в залежності від Ψ_{20} та площі водозабору A_w .

Отже кількість води Q , яку повинен поглинути і відвести пористий шар асфальтобетону шириною 1 м і довжиною L визначають за формулою:

$$Q = i \cdot Lg \cdot 1\text{м}, \quad (2.10)$$

де Lg – дійсна довжина ділянки стоку, м, яку можна знайти за умови:

$$Lg = \frac{Ls \cdot g}{I_{\text{поп}}}, \quad (2.11)$$

де Ls – ширина покриття розрахункового елемента дороги, м.

Потрібну товщину шару дренуючого асфальтобетону на водонепроникній поверхні існуючого покриття можна визначити:

$$h = \frac{20^n \cdot \psi_{20} (1 + c \cdot \lg T) Ls}{166,7 \cdot t^n \cdot I_{\text{поп}}}, \quad (2.12)$$

Тривалість дощу t можна визначити за методом граничних інтенсивностей, приймаючи її рівною часу добігання дренажної водяної суміші від найбільш віддаленої точки покриття розрахункового створу τ , тобто $t = \tau$, хв. За законом Дарсі швидкість фільтрації водяної суміші у пористому середовищі становить:

$$V = \frac{K \cdot J}{n}, \quad (2.13)$$

де n – активна пористість дренажного асфальтобетону (в долях одиниці).

Тоді час добігання води τ по схилу довжиною L_g , що визначається за формулою (2.11) з урахуванням (2.13) буде дорівнювати:

$$\tau = \frac{L_g}{V} = \frac{Ls \cdot n}{I_{\text{поп}} \cdot K}, \quad (2.14)$$

З урахуванням розмірностей:

$$\tau = t = \frac{1440 \cdot n \cdot Ls}{I_{\text{поп}} \cdot K}, \quad (2.15)$$

Згідно методу граничних інтенсивностей $t = \tau$, де τ час добігання води від найбільш віддаленої точки водозабору, складатиметься з часу τ_1 фільтрації води крізь водопроникне асфальтобетонне покриття товщиною h_1 , та дренажний шар покриття, відсипаний сумішшю відкритого типу, товщиною h_2 , яку слід визначати за формулою:

$$V_{\text{дш}} = \frac{K_{\text{дш}} \cdot J}{\Pi_{\text{дш}}}, \quad (2.16)$$

де $K_{\text{дш}}$ – коефіцієнт проникності матеріалу дренажного шару, м/добу;

J – гідрравлічний градієнт ($i = 1$);

$\Pi_{\text{дш}}$ – пористість матеріалу дренажного шару (в долях одиниці).

Потрібна потужність дренажної конструкції шириною 1 м в умовах стаціонарної фільтрації може бути визначена за формулою (12):

$$h_{\text{дш}} = \frac{\Pi_{\text{дш}} \cdot Q}{K_{\text{дш}} \cdot J}, \quad (2.17)$$

Під час вибору дренуючого асфальтобетону необхідно враховувати критичний період роботи дренуючого асфальтобетону, а саме максимальну інтенсивність зливових опадів.

За аналізом Довідника № 4 [65] розроблено карту України за інтенсивністю зливових опадів (рисунок 1). Використання даної карти дозволить виконувати вибір виду дренуючого асфальтобетону то його необхідну товщину.

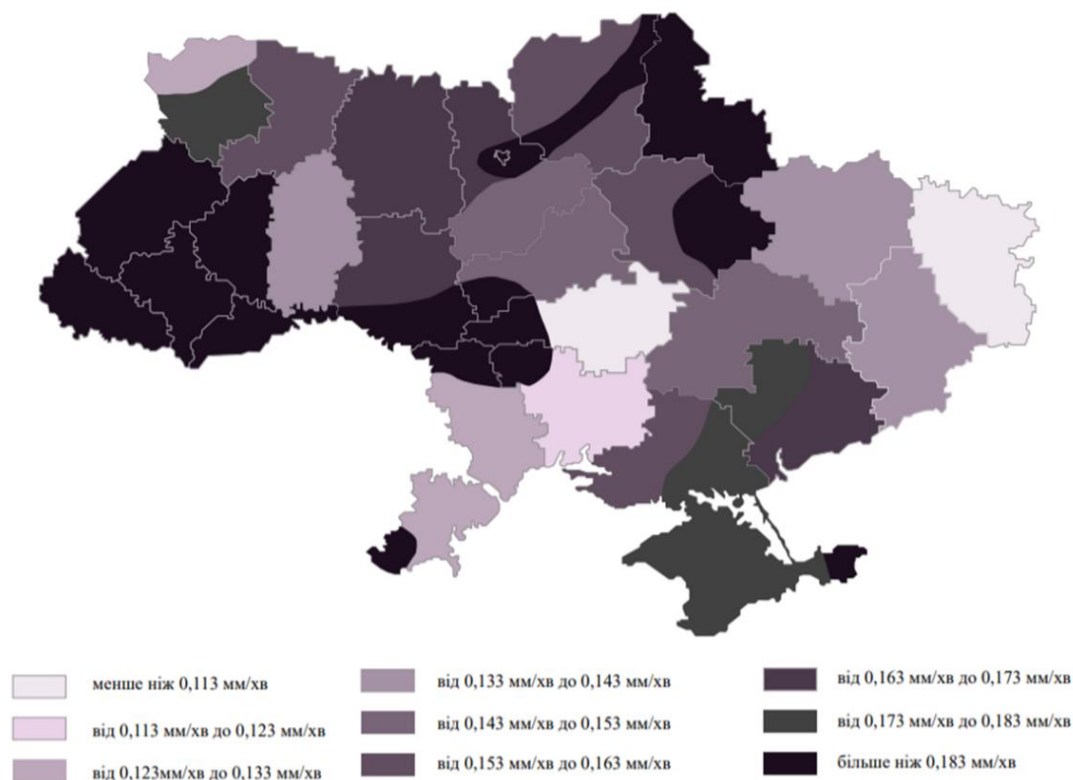


Рисунок 2.5 – Карта України за інтенсивністю зливових опадів

Як бачимо, можемо виконати поділ території за інтенсивністю зливових опадів на дев'ять зон з інтенсивністю зливових опадів від менше ніж 0,113 мм/хв до більше ніж 0,183 мм/хв. Більш інтенсивні опади мають місце на західній та південній частині України. При цьому, на західній Україні більш низькими є температури нагрівання покриття.

Другою важливою характеристикою є кліматичні умови роботи дренуючого асфальтобетону. Для забезпечення колієстійкості умовно територію України за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону можна розділити на три райони (рисунок 2.6). Для кожного району в роботі має бути визначено рекомендовані марки бітуму.

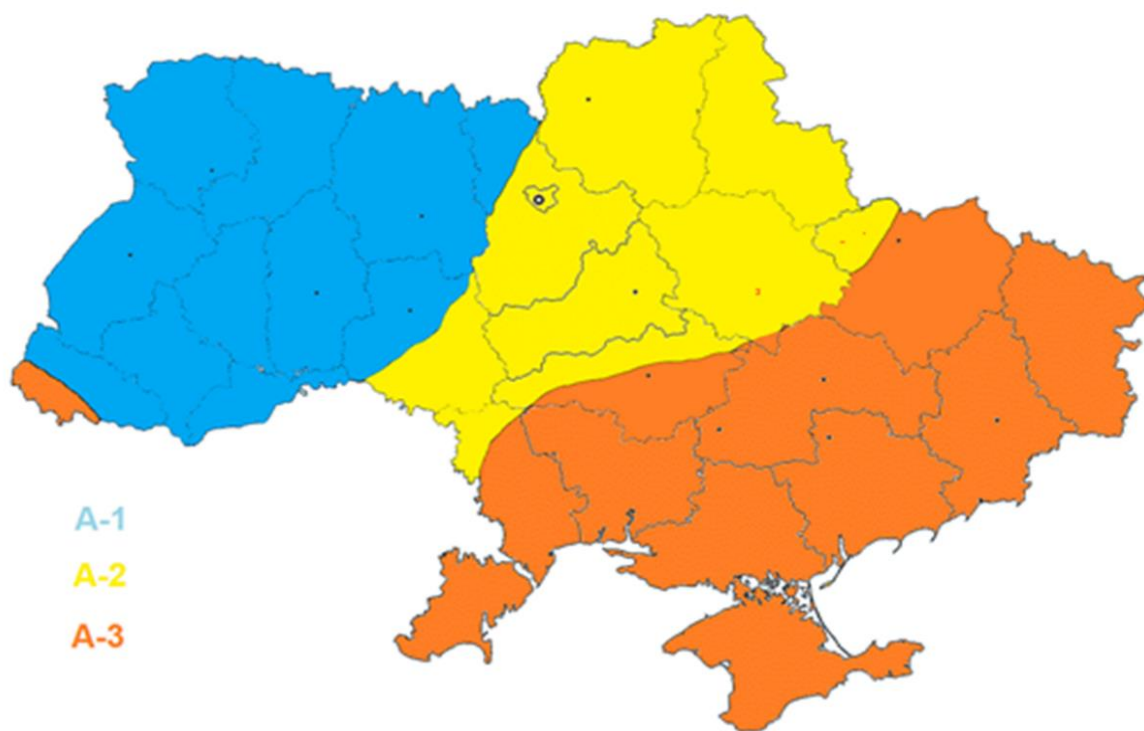


Рисунок 2.6 – Карта України за кліматичними умовами роботи дренажного асфальтобетону

На відміну від щільної структури традиційного дорожнього покриття, дренажне асфальтобетонне покриття здебільшого включає в себе асфальтобетонну суміш з великою кількістю пор – як дренажний поверхневий шар. Основа дренажного поверхневого шару є щільною асфальтобетонною сумішшю, яка допомагає утворювати дренажний канал всередині. Таким чином вода, що просочується в дренажний шар у дощові дні, може виводитися з конструкції дорожнього одягу вздовж схилу тротуару. На дренажні характеристики дренажних асфальтобетонних покриттів вказує їх водопроникність: чим вища водопроникність, тим більша дренажна здатність. Таким чином, повне розуміння та ефективне визначення водопроникності є ключем до успішного застосування дренажних асфальтобетонів.

Висновки до розділу 2

1. Визначено узагальнені теоретичні передумови найбільш вагомих параметрів, які впливають на впровадження та проектування дренажних асфальтобетонів. На підставі аналізу, встановлено, що головним метеорологічним чинником, що визначає стан доріг не тільки в осінньо-зимово-весняний, але й у літній періоди, є опади, їхня інтенсивність, тривалість і повторюваність. і їх розподіл по місяцях, клімат на території держави.

2. Встановлено, що високі транспортно-експлуатаційні характеристики доріг та покриттів ще під час проектування повинні бути розраховані на забезпечення нормальних умов функціонування в несприятливі періоди року, у складній погодній обстановці.

3. Визначено основний метод кліматологічного опрацювання спостережень. Дані, систематизовані за допомогою цього методу, заносяться на карти і служать для кліматологічних узагальнень та досконалого вибору районів роботи певних асфальтобетонних покриттів. Опрацьовано метод визначення питомого надлишку інфільтраційної вологи від атмосферних опадів пікового та середньозваженого режимів.

4. Однією з основних задач дренажного асфальтобетону є відведення води з покриття. Саме на основі даних щодо максимальної кількості зливових опадів впродовж року, і розраховують необхідну товщину дренажного асфальтобетону. Тому, було розроблено метод розрахунку необхідної товщини таких асфальтобетонів та допоміжні матеріали для цього.

Як наслідок, було розроблено карту України за інтенсивністю зливових опадів. На підставі цього, використання даної карти дозволить виконувати вибір виду дренажного асфальтобетону то розрахувати його необхідну товщину.

Умовно територію України за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону було розділено на три райони та також розроблено відповідну карту. На практиці це допоможе визначити відповідно для кожного району рекомендовані марки бітуму та забезпечити достатню колієстійкість відповідно до обраного району.

5. Враховуючи районування за максимальною інтенсивністю зливових опадів та за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону, на практиці це дасть змогу встановити вимоги до бітуму та розробити конструкції дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг. Оскільки шар дренуючого асфальтобетону влаштовують як шар зносу, то для нього не встановлюють розрахункові характеристики.

Результати досліджень другого розділу викладено у наступних публікаціях: [1, 3, 4].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ ДЛЯ УЛАШТУВАННЯ ПОКРИТТЯ ДОРІГ

3.1 Методика досліджень

Проектування дренуючого асфальтобетону включає вибір заповнювачів та в'язучого, підбір гранулометричного складу та оптимального вмісту в'язучого, а також випробування асфальтобетонної суміші.

Першим етапом у процесі проектування дренуючих асфальтобетонних сумішей є вибір матеріалів, придатних для їх виробництва. До заповнювача висуваються жорсткі вимоги до стираності, вмісту подрібнених зерен, вмісту зерен лещадної та голчастої форм, а також до адсорбційної здатності. Крупний заповнювач для дренуючих асфальтобетонів повинен бути достатньо міцним для опору транспортним навантаженням, оскільки дренуючий асфальтобетон складається із заповнювача однакового розміру з малим вмістом дрібних часток і має структуру «камінь на камені»

3.1.1 Вихідні матеріали

Під час проведення досліджень використовували:

- бітум дорожній, модифікований полімером, марки БМПП 40/60-68 вироблений в лабораторних умовах, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-135 [57];

- щебінь фракції 5 – 10 мм та 10 – 20 мм виробництва ТОВ «Малинський спецкар'єр», що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-75 [101];

– пісок із відсівів подрібнення гірських порід виробництва ТОВ «Малинський спецкар'єр», що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-210 [102];

– вапняковий мінеральний порошок, що відповідає вимогам ДСТУ Б В 2.7-121 [103];

– целюлозна стабілізуюча добавка Viator Premium виробництва JRS Rettenmaier & Söhne, що відповідає вимогам ДСТУ Б В 2.7-127 [12].

Результати випробування основних вихідних матеріалів наведено в таблиці 3.1 та таблицях 3.2, 3.3.

Таблиця 3.1 – Результати випробування бітуму

Ч. ч.	Найменування показника	Результат випробування	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-135 до БМПП 40/60-68	Метод випробування
1	Однорідність	У в'язучому відсутні згустки та частинки полімеру	У БМП не повинно спостерігатись згустків та частинок полімеру	ДСТУ Б В.2.7-135
2	Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	59	від 40 до 60	ДСТУ EN 1426
3	Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	70,0	68, не нижче	ДСТУ EN 1427
4	Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	91	12, не менше	ДСТУ 8825
5	Розтяжність (дуктильність) за температури 0 °С, см	23	6, не менше	ДСТУ 8825
6	Еластичність за температури 25 °С, %	90	70, не менше	ДСТУ Б В.2.7-135
7	Температура крихкості, °С	нижче ніж мінус 30	мінус 20, не вище	ДСТУ EN 12593
8	Зчеплюваність з поверхнею щебеню, бал	5	3, не менше	ДСТУ 8787
9	Зчеплюваність з поверхнею скла, %	100	32, не менше	ДСТУ Б В.2.7-81
10	Залишкова пенетрація, %	86	80, не менше	ДСТУ Б EN 12607-1

11	Зміна температури розм'якшеності після прогріття, °С	4,2	5, не більше	ДСТУ Б EN 12607-1
----	--	-----	--------------	-------------------

Таблиця 3.2 – Результати випробування щебеню

Ч. ч.	Найменування показників	Фактичні значення показників для фракції	
		5 - 10	10 - 20
1	Зерновий склад за повним залишком на контрольних ситах: - 1,25 Д _{найб} , % за масою - Д _{найб} , % за масою - 0,5 (Д _{найм} + Д _{найб}), % за масою - Д _{найм} , % за масою	0 6 60 95	0 7 62 93
2	Вміст пиловидних та глинистих часток, % за масою	0,6	0,3
3	Вміст глини у грудках, % за масою	0,0	0,0
4	Група за формою зерен	кубовидна	кубовидна
5	Марка щебеню за міцністю	1200	1200
6	Вміст зерен слабких порід, % за масою	0,6	0,4
7	Марка щебеню за стиранистю	Ст-I	Ст-I
8	Марка щебеню за морозостійкістю	F300	F300
9	Дійсна щільність, г/см ³	2,80	2,80
10	Середня щільність, г/см ³	2,72	2,71

Таблиця 3.3 – Результати випробування целюлозної стабілізуючої добавки Viator Premium

Ч. ч.	Найменування показників	Позначення НД на методи випробувань, номер пункту	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127	Результати випробувань		Точність вимірювань	
				фактичні показники		Середнє арифметичне	Середнє квадратичне відхилення
1	Стікання в'язучого, % за масою	ДСТУ Б В.2.7-127, Додаток Б	не більше 0,20 %	0,10	0,12	0,11	0,01
2	Вологість волокон, % за масою	ДСТУ Б В.2.7-127, Додаток В	не більше 5,0 %	1,8	1,8	1,8	0
3	Термостійкість волокон, % за масою	ДСТУ Б В.2.7-127, Додаток В	не більше 7,0 %	1,3	1,4	1,4	0

3.1.2 Склади матеріалів, що випробовували, та технології їх приготування

Найперше та найважливіше завдання, це якісно підібрати склад ДАБС, оскільки це в подальшому може сприяти уникненню ряду проблем. Мабуть найбільш використовуваними та перевіреними у всьому світі є об'ємні властивості ДАБ. Відповідно до об'ємних підходів основною вимогою є забезпечення потрібного вмісту пустот в ущільнених зразках. Механічні вимоги визначають рідко, тоді як властивості, пов'язані з експлуатаційною надійністю, переважно застосовують до ДАБ для автомобільних доріг із значним транспортним навантаженням.

На другому етапі виконували підбір зернового складу залежно від області застосування дренуючих асфальтобетонів згідно технічних норм. У кожній конкретній європейській країні ці норми прив'язані до наявних умов і накопиченого досвіду, і на підставі них видано власні нормативні документи. Так як в нашій країні ці норми відсутні, то відповідно подібного клімату доцільно розглядати вимоги до зернових складів дренуючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині, клімат якої є близьким до клімату України, залежно від максимального розміру зерен щебеню [33, 49].

Оскільки для виробництва дренуючого асфальтобетону використовують щебінь вузьких фракцій, наявні фракції щебеню було розсіяно з використанням сит з квадратними отворами на фракції 11/16, 8/11 та 5/8.

Рациональний підібраний склад суміші для ДАБ-16, ДАБ-11, ДАБ-8:

Крупний заповнювач – 92 %;

Дрібний заповнювач – 4 %;

Наповнювач – 4 %;

Стабілізуюча добавка – 0,3 % (ДАБ 16); 0,4 % (ДАБ-11); 0,5 % (ДАБ 8);

Бітум – 5,5-6,5% (ДАБ-16); 6,0-7,0 % (ДАБ-11); 6,5-7,5 % (ДАБ-8).

Підібраний зерновий склад мінеральної частини асфальтобетонних сумішей для дренуючого асфальтобетону наведено в таблиці 3.4 та графічне зображення методу граничних кривих показано на рисунках 3.1, 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.4 – Підібраний зерновий склад асфальтобетонних сумішей

Розмір отворів сита, мм	Повний прохід, % за масою, в залежності від типу дренуючого асфальтобетону								
	ДАБ 16			ДАБ 11			ДАБ 8		
22,4	100	100	100	-	-	-	-	-	-
16	90	100	95	100	100	100	-	-	-
11,2	5	15	10	90	100	95	100	100	100
8	-	-	-	5	15	10	90	100	95
5,6	-	-	-	-	-	-	5	15	10
2	5	10	6	5	10	7	5	10	9
0,063	3	5	3,5	3	5	4	3	5	4,5

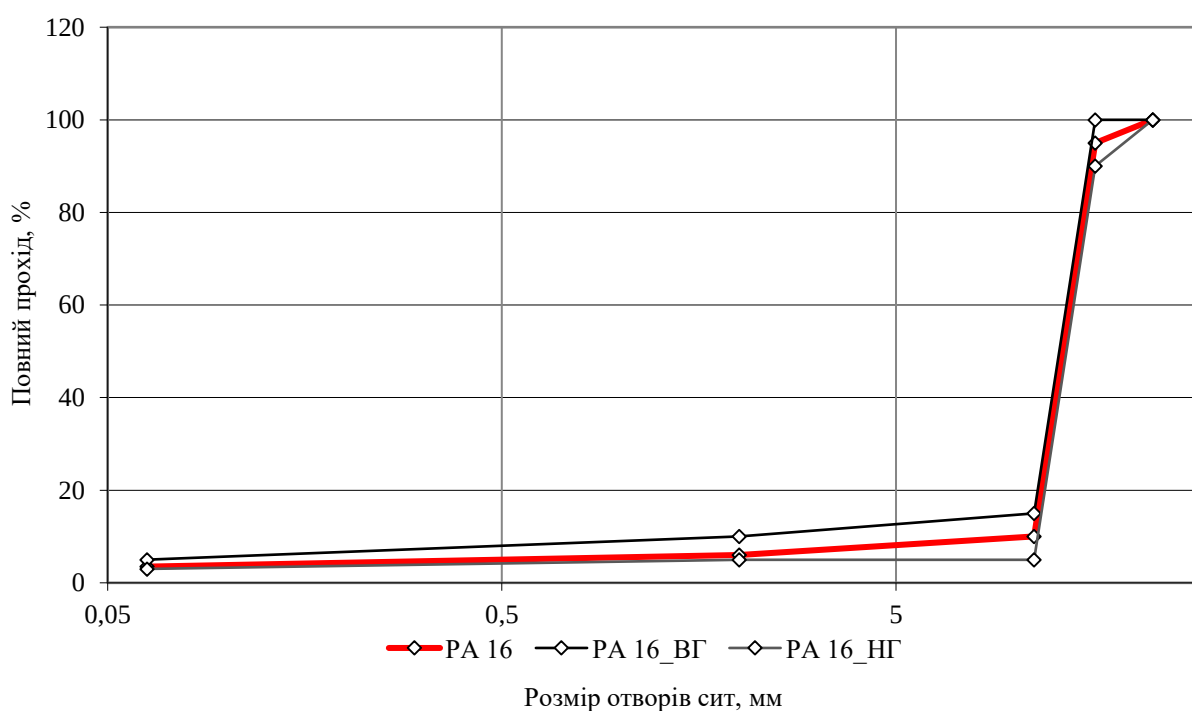


Рисунок 3.1 – Графічне зображення зернового складу суміші ДАБ 16

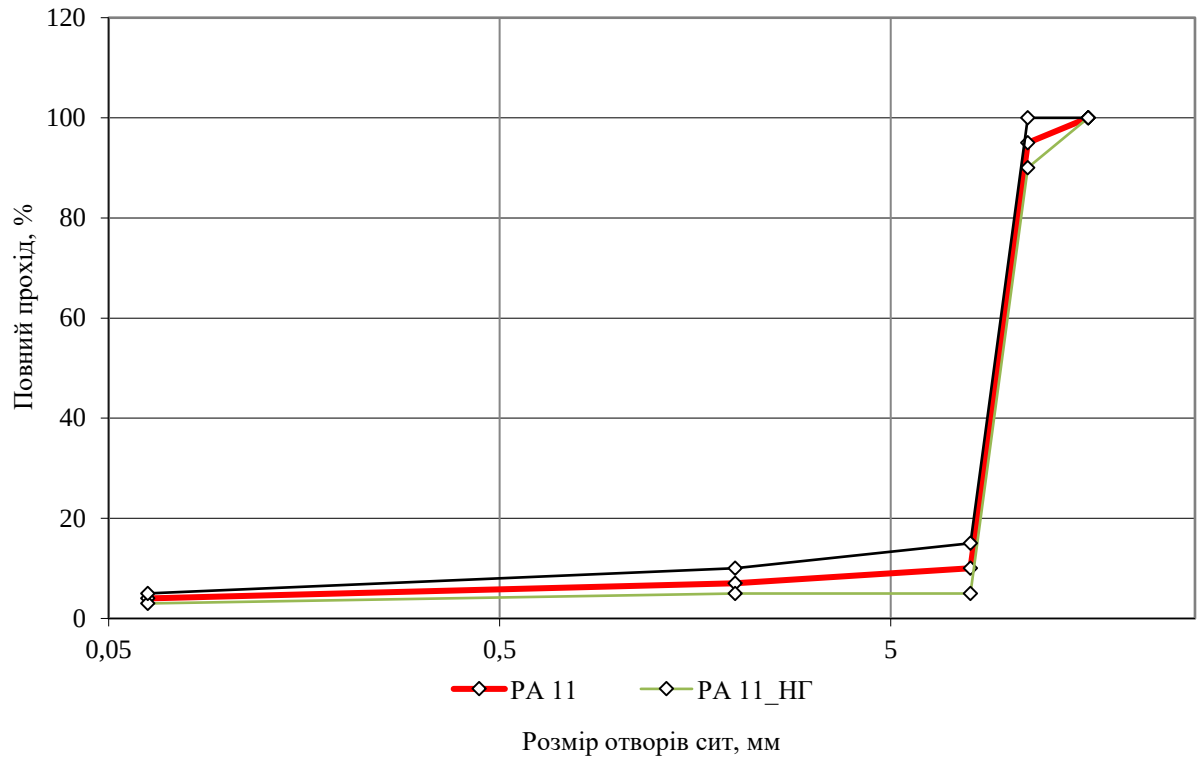


Рисунок 3.2 – Графічне зображення зернового складу суміші ДАБ 11

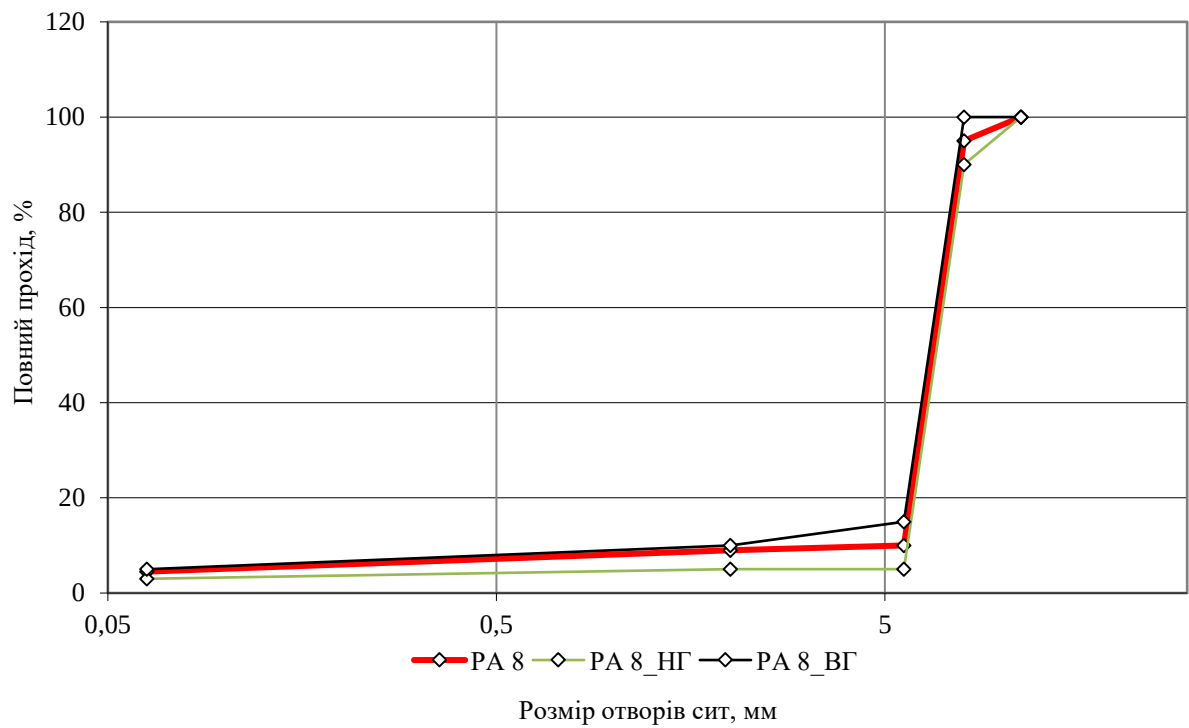
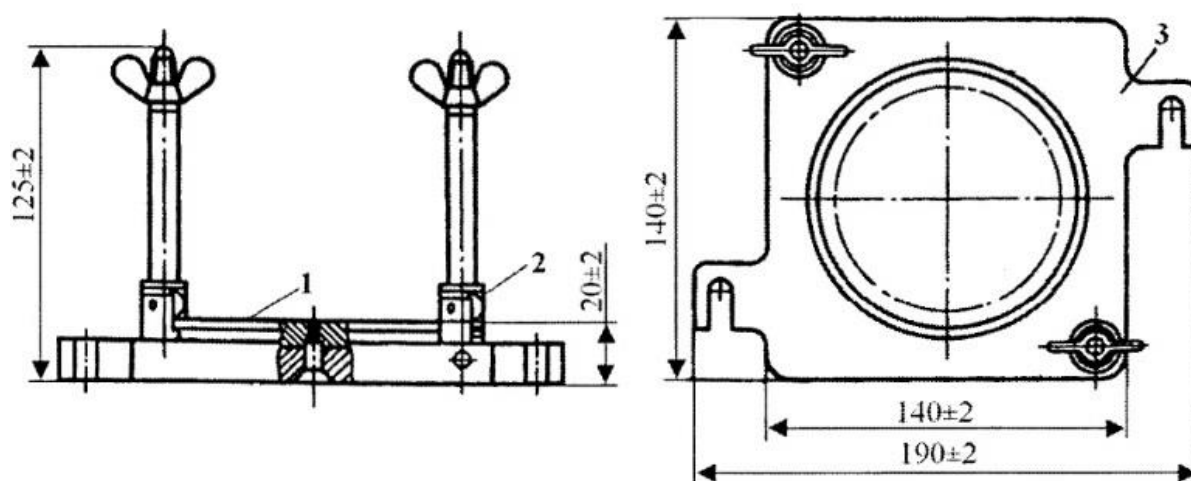


Рисунок 3.3 – Графічне зображення зернового складу суміші ДАБ 8

Для встановлення оптимального вмісту бітуму було вироблено асфальтобетонні суміші з максимальним розміром зерен 16 мм, 11 мм та 8 мм та вмістом бітуму від 5,5 % до 7,5 %. Для виробництва дренажних асфальтобетонів рекомендовано використовувати бітум, модифікований полімером, на дві марки вище ніж зазвичай використовують у даному регіоні залежно від максимальної температури повітря впродовж 7 діб [35]. Для підвищення міцності та довговічності рекомендовано також використання волокнистих стабілізуючих добавок в кількості від 0,3 % до 0,6 %. Оптимальний вміст в'язучого визначають за результатами виконання ряду випробувань суміші та зразків, ущільнених методом Маршала.

Виробництво асфальтобетонних сумішей у лабораторних умовах виконували відповідно до ДСТУ EN 12697-35 [50].

Для визначення показників дренажних асфальтобетонів за методом Маршалла використовували обладнання, що складається зі спеціальної підставки (рисунк 3.4) та форми з насадками (рисунк 3.5).



1 – пластина; 2 – шарнір; 3 – підставка

Рисунок 3.4 – Підставка під форму для виготовлення зразків за методом Маршалла

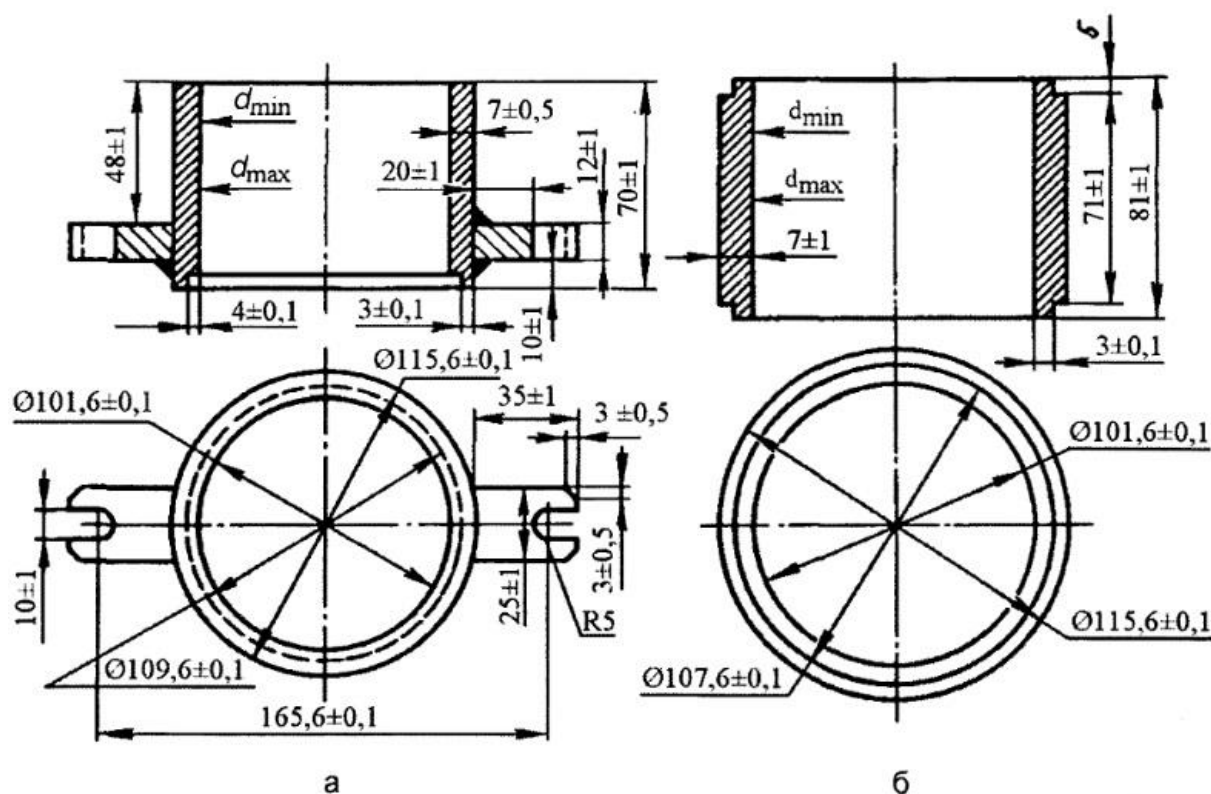


Рисунок 3.5 – Форма (а) з насадкою (б) для ущільнення зразка трамбуванням за методом Маршалла

Зразки для випробувань за методом Маршалла ущільнювались ударами падаючого вантажу за допомогою автоматичного ущільнювача ударної дії Controls (рисунок 3.6), робочий орган якого падає з певної встановленої висоти певну кількість разів.

З підібраних сумішей дренуючого асфальту було виготовлено зразки циліндричної форми з діаметром $(101,6 \pm 0,1)$ мм і висотою $(63,5 \pm 2,5)$ мм. Кількість суміші для виготовлення зразка певної висоти повинна коригуватися в залежності від її щільності. Але, завдяки встановленій кількості ударів згідно європейських стандартів, кількість була відкоригована залежно від висоти зразка.



Рисунок 3.6 – Загальний вид ударного ущільнювача Controls

Кількість ударів ущільнювача та температура суміші при приготуванні і при ущільненні була призначена згідно європейського стандарту [49]. Суміш ущільнювали при встановленій кількості ударів в 50 разів з однієї сторони, потім форму перевертають, насадку закріплюють з іншого боку форми і суміш ущільнюють такою ж кількістю ударів.

Суміш була підігріта до температури ущільнення. Температуру нагріву вихідного матеріалу та дренажної асфальтобетонної суміші

приймали відповідно до [15, 33]. Перед виготовленням зразків форму з підставкою попередньо підігрівали до температури $(95 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Після ущільнення розміщували форму для ущільнення з гарячим зразком на горизонтальну поверхню і охолоджували зразок за кімнатної температури. Після вистигання зразок виформовувався з форми екструдером.



Рисунок 3.7 – Заформовані зразки ДАБ-16 в формах при охолодженні з певним вмістом бітуму



Рисунок 3.8 – Заформовані зразки ДАБ-8 в формах при охолодженні з певним вмістом бітуму



Рисунок 3.9 – Загальний вид зразків ДАБ-16 після виформовування



Рисунок 3.10 – Загальний вид структури зразків ДАБ-16



Рисунок 3.11 – Загальний вид зразків ДАБ-11 з різним вмістом бітуму підготовлених до випробувань



Рисунок 3.12 – Загальний вид структури зразків ДАБ-11



Рисунок 3.13 – Загальний вид зразків ДАБ-8 з різним вмістом бітуму підготовлених до випробувань



Рисунок 3.14 – Загальний вид структури зразків ДАБ-8

Після виготовлення зразків було визначено їх середню густину, пористість мінерального кістяка, залишкову пористість, міцність за Маршалом, деформацію при досяганні критичного навантаження.

Оскільки у всьому світі визначають більше об'ємні властивості ДАБ, відповідно до об'ємних підходів основною вимогою є забезпечення

потрібного вмісту пустот в ущільнених зразках. Тобто, показник міцності за методом Маршала було визначати необов'язково.

Але для накопичення даних, уточнення характеристик та подальшого дослідження та вдосконалення дренуючих асфальтобетонів було визначено показник міцності за Маршалом та деформацію при досяганні критичного навантаження. Випробування проводились на автоматизованому пресі Controls.



Рисунок 3.15 – Загальний вид випробування зразків ДАБ-16 за методом Маршала



Рисунок 3.16 – Загальний вид випробування зразків ДАБ-8 за методом Маршала



Рисунок 3.17 –Зразок ДАБ-8 в спеціальній формі при випробуванні за методом Маршала

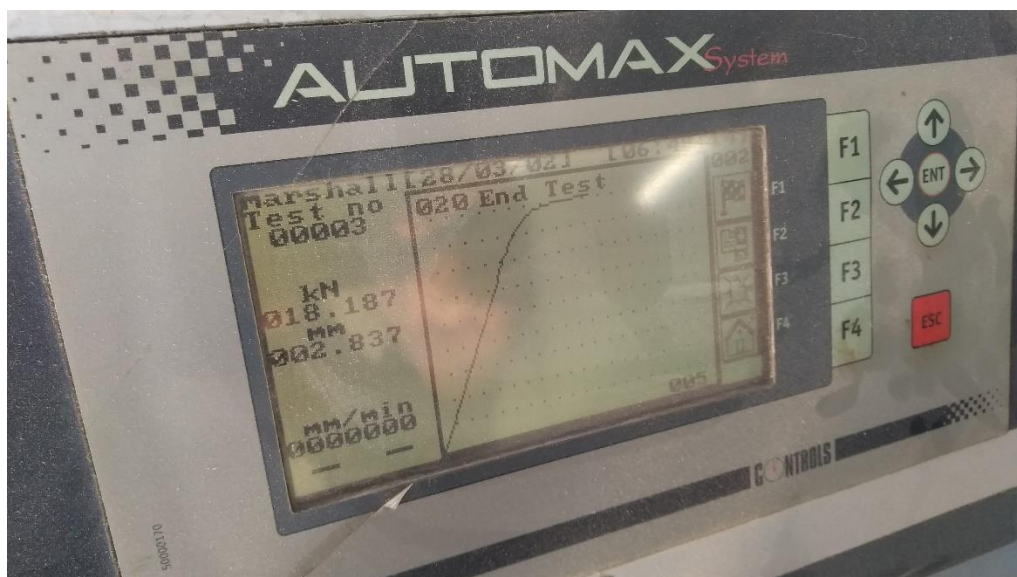


Рисунок 3.18 – Приклад результату показників міцності та деформації зразка ДАБ-8 при випробуванні за методом Маршала

3.2 Результати лабораторних випробувань

Результати випробування об'ємних та механічних властивостей дренуючого асфальтобетону залежно від максимального розміру зерен з різним вмістом бітумного в'язучого згідно підбору складу наведено в таблицях 3.5, 3.6 та 3.7, а також на рисунках 3.19 – 3.21.

Таблиця 3.5 – Результати випробування дренуючого асфальтобетону з максимальним розміром зерен 16 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренуючого асфальтобетону ДАБ 16 з вмістом бітуму, %		
	5,5	6,0	6,5
Середня густина, г/см ³	1,83	1,84	1,89
Пористість мінеральної частини, %	36,4	36,0	34,9
Залишкова пористість, %	26,8	25,4	23,3
Міцність, кН	14,3	16,1	18,4
Деформація, мм	2,34	2,72	3,43

Таблиця 3.6 – Результати випробування дренуючого асфальтобетону з максимальним розміром зерен 11 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренуючого асфальтобетону ДАБ 11 з вмістом бітуму, %		
	6,0	6,5	7
Середня густина, г/см ³	1,91	1,93	1,94
Пористість мінеральної частини, %	34	33,3	32,1
Залишкова пористість, %	23,2	22,4	21,2
Міцність, кН	22,1	23,6	24,1
Деформація, мм	3,34	2,10	2,34

Таблиця 3.7 – Результати випробування дренажного асфальтобетону з максимальним розміром зерен 8 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренажного асфальтобетону ДАБ 8 з вмістом бітуму, %		
	6,5	7	7,5
Середня густина, г/см ³	2,00	2,01	2,02
Пористість мінеральної частини, %	33,7	33,7	33,6
Залишкова пористість, %	21,5	20,5	19,6
Міцність, кН	17,2	18,1	19,8
Деформація, мм	3,12	2,22	2,62

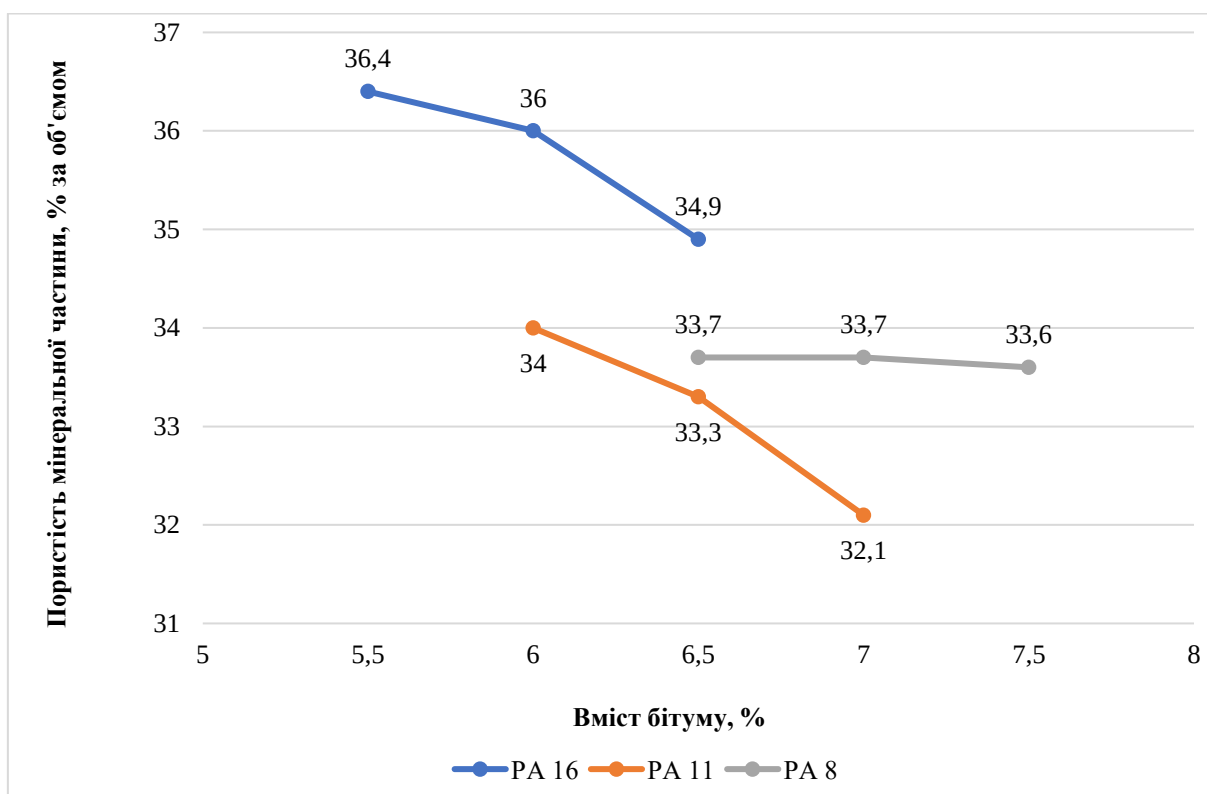


Рисунок 3.19 – Залежність пористості мінеральної частини від вмісту бітуму

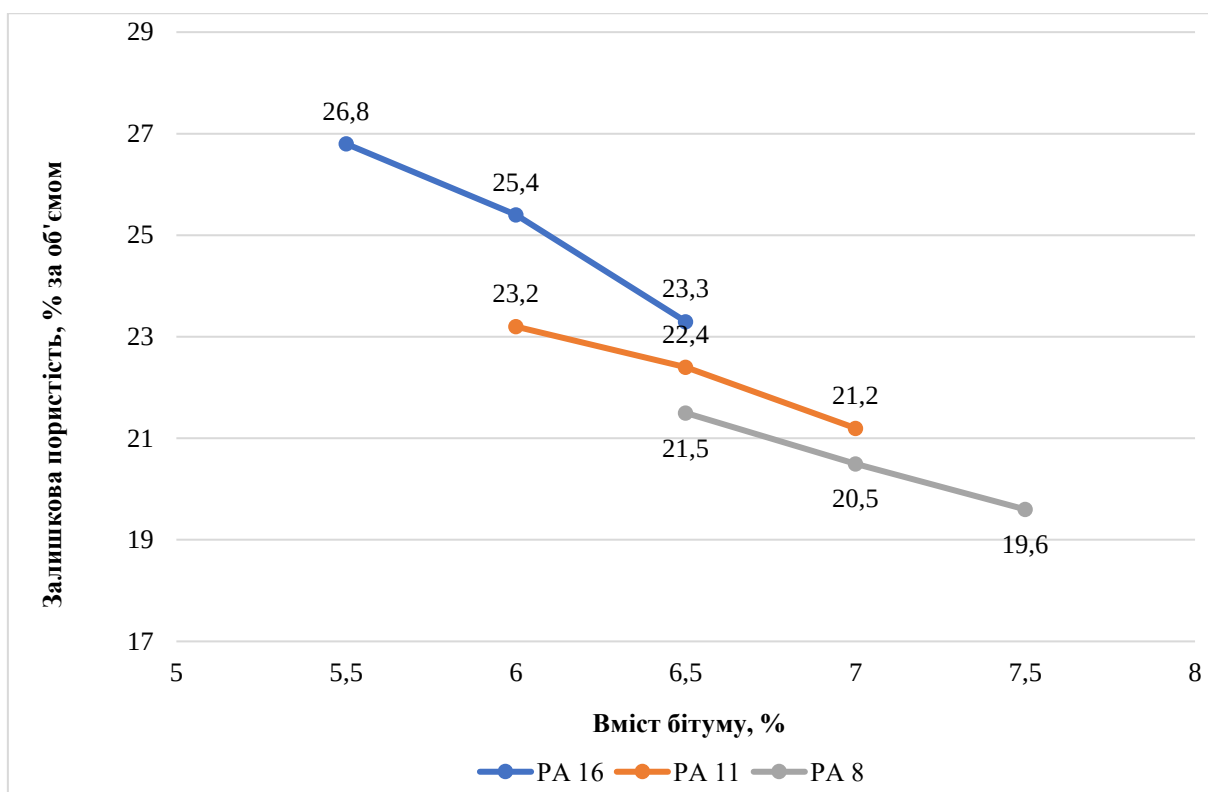


Рисунок 3.20 – Залежність залишкової пористості асфальтобетону від вмісту бітуму

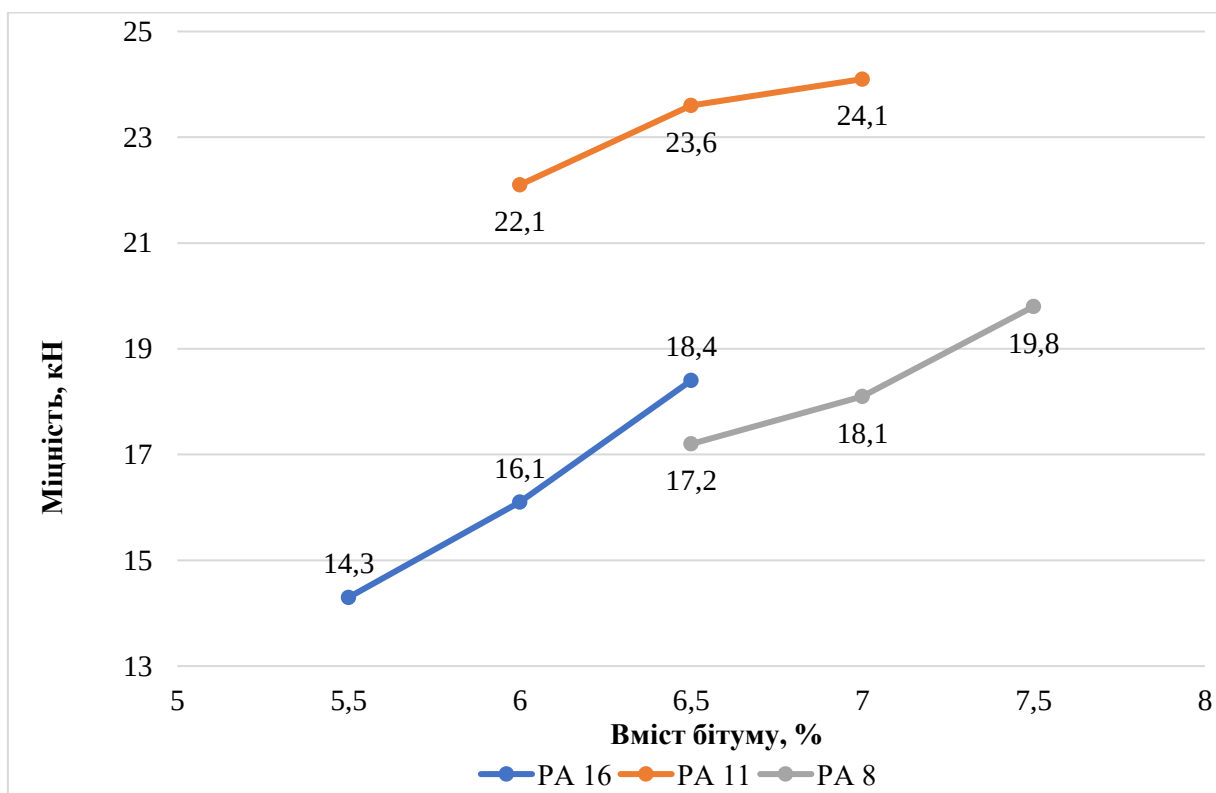


Рисунок 3.21 – Залежність міцності асфальтобетону від вмісту бітуму

3.3 Визначення кількості пор заповнених в'язучим у мінеральному заповнювачі

Такі об'ємні характеристики як вміст повітряних пор та вміст пор у мінеральному заповнювачі, які заповнені в'язучим можна використовувати як умови підбору складу суміші або як параметри для оцінки суміші, після її укладання та ущільнення.

Відсоток пор, заповнених в'язучим, у мінеральному заповнювачі зразка розраховують за вмістом в'язучого та пор у мінеральному заповнювачі, а також об'ємної щільності зразка та густини в'язучого.

Відсоток пор, заповнених в'язучим в заповнювачі визначається таким чином [104]:

$$VFB = ((B \times \frac{\rho_b}{\rho_B}) \div VMA) \times 100\% \text{ (за об'ємом)} \quad (3.1)$$

де VFB – відсоток пор в мінеральному заповнювачі, заповнених в'язучим, визначається з точністю до 0,1% (за об'ємом);

B – відсоток в'язучого в зразку (в 100% суміші), визначається з точністю до 0,1% (по об'єму).

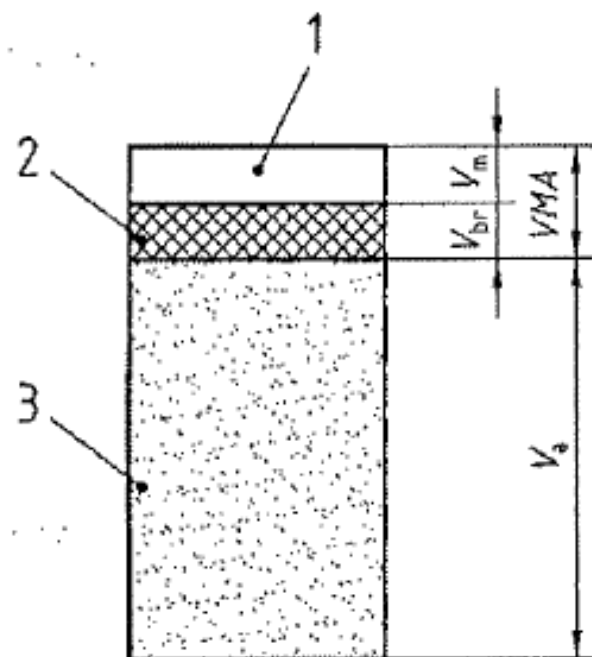
ρ_b – об'ємна щільність зразка, у кілограмах на кубічний метр (кг/м³);

ρ_B – густина в'язучого, у кілограмах на кубічний метр (кг/м³);

VMA – вміст пор в мінеральному заповнювачі, визначаються з точністю до 0,1% (за об'ємом).

Заповнення пор мінерального остова бітумом є показником структури дренуючого асфальтобетону, який показує постійний об'єм вільного бітуму в суміші при будь-якій щільності мінерального остова. Це дозволяє забезпечити високу якість високопористої асфальтобетонної

суміші в плані пропускної здатності. Пори в мінеральному заповнювачі показано на рисунку 3.22.



Умовні позначки: 1 – пора; 2 – бітум; 3 – мінеральний заповнювач.

Рисунок 3.22 – Пори в мінеральному заповнювачі (VMA)

Оскільки були проведені експерименти з підбору складу дренуючого асфальтобетону і відомо об'ємні властивості, було визначено показник кількості пор для дренуючих асфальтобетонів з максимальною крупністю зерен 16 мм, 11 мм, 8 мм та мінімальним вмістом бітуму 5,5 %, 6,0 % та 6,5 % відповідно:

$$VFB_{\text{ДАБ-16}} = \left(\left(5,5 \times \frac{1,83}{1} \right) \div 36,4 \right) \times 100\% = 28\%$$

$$VFB_{\text{ДАБ-11}} = \left(\left(6,0 \times \frac{1,91}{1} \right) \div 34 \right) \times 100\% = 34\%$$

$$VFB_{\text{ДАБ-8}} = \left(\left(6,5 \times \frac{2,00}{1} \right) \div 33,7 \right) \times 100\% = 39\%$$

Отже, для зразка ДАБ-16 відсоток пор, заповнених в'язучим, у мінеральному заповнювачі становить 28 %, для ДАБ-11 – 34 %, для ДАБ-8 – 39 %.

Тобто, можна зробити висновок, що відсоток вільних для проходження води пор у зразку ДАБ-16 становить 72 %, у ДАБ-11 – 66 %, а у ДАБ-8 – 61 %. Це свідчить про досягнення достатнього забезпечення дренажної здатності дренажного асфальтобетону і тим самим довговічності його роботи.

3.4 Визначення вертикальної та горизонтальної проникності дренажного асфальтобетону

На дренажні характеристики дренажних асфальтобетонних покриттів вказує їх водопроникність: чим вища водопроникність, тим більша дренажна здатність. Однією з основних задач дренажного асфальтобетону є відведення води з покриття. Тому, метод визначення проникної здатності став би одним із основних методів випробування.

Варто зазначити, що показник проникності визначався під час підбору складу ДАБС з метою накопичення даних та встановлення залежності проникності від залишкової пористості [15, 31]. Тому, важливо було провести таке випробування під час підбору складу, так як в подальшому визначення показника проникності, як зразків, так і влаштованого покриття, вважатиметься одним із основних.

Суть проведеного випробування полягає в тому, що стовп води певного об'єму подавався на циліндричний зразок і проникав крізь зразок у вертикальному напрямку впродовж контрольованого часу. Отриманий в результаті випробування вертикальний потік води Q_v є розрахунковим показником значення вертикальної проникності K_v .

Показник вертикальної проникності визначався на зразках різної висоти для збору даних, набуття досвіду та визначення залежності товщини зразка на швидкість дренажної здатності. Для цього було використано два методи ущільнювання зразків: метод Маршала, який передабачас ущільнювання кількістю 50 ударів по обидві сторони; за допомогою гіраторного ущільнювача Matest. При гіраторному ущільнюванні встановлювалась необхідна кількість обертів, щоб досягти однакової середньої щільності та об'ємних властивостей зі зразком, заформованим за методом Маршала. Завдяки методу «точок блокування» були досягнуто необхідних об'ємних властивостей при кількості 80 обертів.



Рисунок 3.23 – Заформований зразок методом гіраторного ущільнення в спеціальній формі при остиганні перед випробуванням



Рисунок 3.24 – Загальний вид структури зразків заформованих на гіраторному та ударному ущільнювачі для випробування на проникність

Об'єм води, що був розрахунковим в ході випробування, було прийнято 1000 см^3 . Воду кожного разу було відміряно спеціальною мірною колбою (рисунок 3.25). Зразки при випробуванні було залишено в формах для виготовлення, для щільного прилягання по боках форми до зразка, щоб не було втрат води. У випадку з формою для виготовлення зразків по Маршалу, для досягнення необхідної висоти для води, форму було складено з декількох частин і усунено протікання ущільнюванням (рисунок 3.26).



Рисунок 3.25 – Спеціальна мірна колба для вимірювання точного об'єму воду для випробування



Рисунок 3.26 – Зразок виготовлений за Маршалом в формі перед випробуванням

Зразки в формах перед випробуванням встановлювались на спеціальну поверхню з вирізом під форму, щоб при заповненні зразка водою перед початком випробування вода, насичивши зразок, вільно не витікала з під форми. Воду в установленому об'ємі заливали в форму та після насичення зразка водою замірялася висота води над зразком (рисунок 3.27). Далі форма зі зразком і водою піднімалася над поверхнею і в цей час починався відлік часу. Час відліку зупиняли в той момент, коли вода закінчувалася над поверхнею зразка. Випробування проводилося по 2 рази для кожного зразка і приймалися середні значення підрахунку проникності.

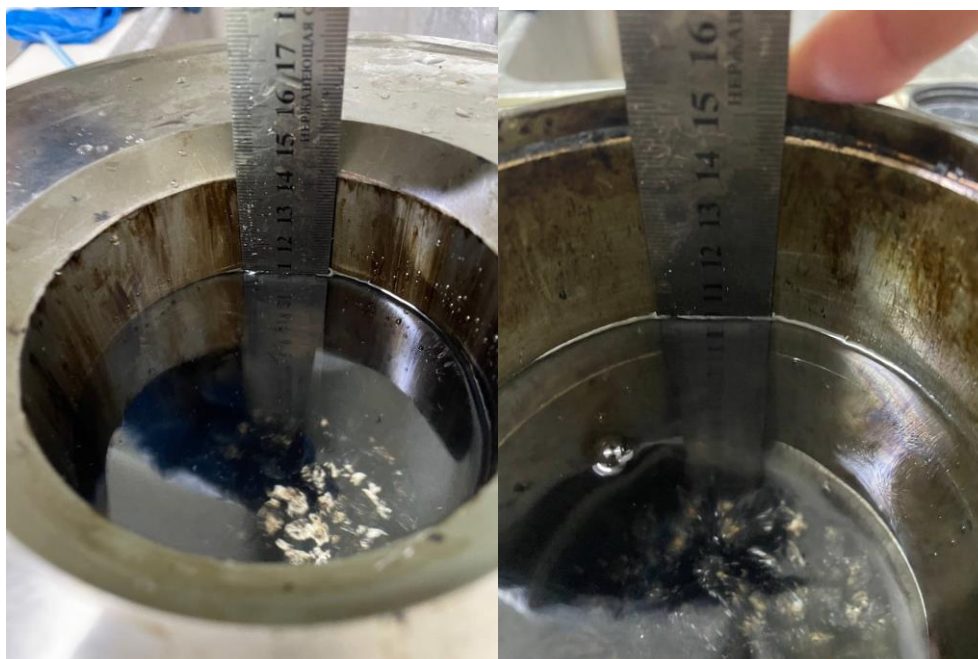


Рисунок 3.27 – Визначення об'єма води після насичення зразка

Результати замірів випробування та визначеної вертикальної проникності показані в таблиці 3.8 та таблиці 3.9.

Таблиця 3.8 – Результати визначених параметрів та швидкості фільтрації зразка висотою 11 см діаметром 10,0 см (гіраторне ущільнювання)

Ч. ч.	Найменування параметрів	Фактичні значення визначених показників	
		1 випробування	2 випробування
1	Висота води на зразком, см	10,4	11,0
2	Час проходу води через зразок, с	9,53	9,98
3	Об'єм води, яка пройшла через зразок, см ³	816,81	863,94
4	Вертикальний потік Q_v, за об'ємом, см³/с	85,71	86,57
5	Швидкість проникності, см/с	1,09	1,10

Таблиця 3.9 – Результати визначених параметрів та вертикальної проникності зразка висотою 6,4 см діаметром 10,1 см (ущільнювання за Маршалом)

Ч. ч.	Найменування параметрів	Фактичні значення визначених показників	
		1 випробування	2 випробування
1	Висота води на зразком, см	10,3	10,9
2	Час проходу води через зразок, с	6,54	6,80
3	Об'єм води, яка пройшла через зразок, см ³	825,22	873,29
4	Вертикальний потік Q_v, за об'ємом, см³/с	126,18	128,43
5	Швидкість проникності, см/с	1,58	1,60

Швидкість проникності для зразка ущільненого гіраторним ущільнювачем висотою 11 см і сталої площі перерізу ємності та зразка становить 1,1 см/с. Якщо розглянути швидкість об'єму води за час, то значення становить 86 см³/с. Для зразка ущільненого за методом Маршала і висотою 6,4 см швидксть становить 1,6 см/с та 127 см³/с відповідно.

Можна побачити, що в разі визначення вертикального проходження води через зразок, зі зменшенням товщини зразка дренажного асфальтобетону, швидксть водопроникності зразка збільшується. Тобто, на кожен 1 см збільшення товщини зразка швидксть проникності зменшується на 0,11 см/с або на 8,91 см³/с за об'ємом. В лабораторних умовах можливо

встановити значення необхідної швидкості відповідно до запроєктованої товщини дренуючого асфальтобетонного покриття.

Для отримання результату не залежно від товщини зразка і встановлення нормативних вимог в Європі та Америці визначають коефіцієнт вертикальної проникності K_v . Для цього використовують спеціальний пристрій пермеаметр. Тобто, в кожній країні для точності і правильності даних треба мати або вже існуючий прилад, або виготовляти подібний і встановлювати необхідні вимоги до випробувань і до результатів.

В Європі методологія визначення проникної здатності зразка описується в EN 12697-19 [31]. Але, згідно зображеного пермеаметра зразок постійно знаходиться у воді, а вода яка проходить через зразок за певний час, виливається через верх посудини в іншу. Тому, вертикальна вільна проникність зразка буде повільнішою, що вплине на результат визначення коефіцієнта проникності. Значення проникності згідно EN 13108-7 [20] подається округленим до 10^{-3} м/с.

Вертикальна проникність, згідно [31] визначається за формулою:

$$K_v = \frac{4 \cdot Q_v \cdot l}{h \cdot \pi \cdot D^2}, \quad (3.2)$$

де K_v — вертикальна проникність, в метрах за секунду, (м/с);

Q_v — вертикальний потік через зразок у метрах кубічних за секунду (м³/с);

l — товщина зразка, в метрах (м);

h — фактична висота стовпа води, в метрах (м);

D — діаметр зразка, в метрах (м).

В США, для прикладу в штаті Флорида, метод визначення коефіцієнту проникності наведений в FM 5-565 [105]. Згідно нього, прилад для визначення проникності має деякі відмінності від Європейського. Але,

у випадку визначення коефіцієнту результати можуть бути дещо достовірнішими, якщо опиратися в підрахунках на цей метод.

Коефіцієнт проникності згідно [105] визначається за формулою:

$$K_v = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) * t, \quad (3.3)$$

де: K_v = коефіцієнт проникності, см/с;

a = площа внутрішнього перерізу бюретки, см²;

L = середня товщина випробного зразка, см;

A = середня площа поперечного перерізу досліджуваного зразка, см²;

t = час, що минув між h_1 і h_2 , с;

h_1 = початковий напір випробуваного зразка, см;

h_2 = кінцевий напір випробуваного зразка, см;

tc = температурна поправка на в'язкість води.

В даному дослідженні було вирішено визначити коефіцієнт проникності за двома методами для порівняння результатів, встановлення залежності проникності від залишкової пористості та накопичення даних. Результати проведених підрахунків наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Результати визначення коефіцієнта проникності зразків ДАБ-11

Ч. ч.	Найменування показника згідно відповідних методів випробування	Фактичні значення визначених показників	
		Гіраторне ущільнювання	Ущільнювання методом Маршала
1	Коефіцієнт вертикальної проникності за EN 12697-19, см/с	1,1	1,0
2	Коефіцієнт вертикальної проникності за EN 12697-19, м/с	$11 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$
3	Коефіцієнт вертикальної проникності за FM 5-565, см/с	0,8	0,9

Значення проникності для обох типів зразків в середньому становить 1,00 см/с незалежно від методу підрахунку. Різницю в 0,1 см/с між результатами визначання за Європейським та Американським методами можна списати на похибку замірів. Як зазначено в розділі 3, таблиці 3.6, підтверджений відсоток повітряних пустот (залишкової пористості) для суміші ДАБ-11 з вмістом бітуму 6,0% за методом Маршала становив 23,2%. Для зразка висотою 11 см було досягнуто такої ж пористості. Оскільки зразки заформовані різними методами мають однаковий відсоток повітряних пустот, очікувалося, що вони повинні мати подібні коефіцієнти проникності, так як у формулах враховуються геометричні розміри зразків.

В науково-дослідній роботі Lori Kathryn Schaus [23] також досліджував коефіцієнт проникності пористих асфальтобетонів які використовують в Америці. Його випробування підсумовуються порівнянням значень різних інших видів матеріалів до пористого асфальтобетону (рисунок 3.28).

Table 5.2 Coefficient of Permeability Rate Comparison

Mix/Material	Average Air Voids (%)	Average Coefficient of Permeability (cm/s)
Porous Asphalt*		
PG 64-28	16.5	0.99
PG 70-28	17.1	1.00
Soils/Aggregates		
Gravel*	—	1.00
Sand**	—	3.53×10^{-4}
Silt**	—	7.06×10^{-5}
Clay**	—	7.06×10^{-6}
Dense-Graded Laboratory Mixes***		
SP 9.5 mm fine (surface)	8.3	1.94×10^{-3}
SP 9.5 mm coarse (surface)	5.5	3.95×10^{-4}
SP 12.5 mm coarse (surface)	5.0	1.02×10^{-3}
SP 19 mm coarse (base)	7.1	2.34×10^{-3}
SP 25 mm coarse (base)	6.6	2.19×10^{-5}

* [Elgarnal 2002] ** [PCA 2006] *** [Mallick 2003]

Рисунок 3.28 – Коефіцієнт фільтрації різних матеріалів

Розглянувши таблицю та значення, представлену в роботі [23], можна підсумувати, що дренуючі асфальтобетонні суміші демонструють ідентичні показники проникності до традиційного гравію, що можна пояснити відкритою порожнистою структурою суміші. Також в таблиці можна побачити лабораторні випробування на водонепроникність п'яти різних щільних сумішей Supergravel, проведених Національним центром асфальтових технологій [Mallick 2003]. Тобто дренуючий асфальтобетон продемонстрував значно вищі показники, ніж щільні суміші, як і слід було очікувати, оскільки щільні суміші розроблені як відносно непроникні. Наприклад, щільна суміш Supergravel з максимальним номінальним розміром зерен 12,5 мм має значення проникності в 1000 разів менше, ніж дренуючий асфальтобетон, що матиме неабиякий ефект на автомобільній дорозі в напрямку видимості, зчеплення, аквапланування та комфорту.

Але, згідно [31] вказано, що зазвичай під час випробування пористого асфальтобетону проникність становить від $0,5 \times 10^{-3}$ м/с до $3,5 \times 10^{-3}$ м/с, а отримане значення було значно вище, то більш доречно назвати цей показник вище охарактеризований показник - коефіцієнт фільтрації, так як не були створені умови при випробуванні для відводу води. Тому, було проведено додаткове випробування для створення оптимальних умов визначення значення проникності. Так, як показники згідно методу [31] і [105] майже не відрізнялися, то показник визначався за першим методом.

Також, в даному випадку було вирішено провести випробування на визначення горизонтальної проникності, так як за цим методом вода частково проходить в горизонтальному напрямку через зразок. На мою думку, горизонтальна проникність більш точно характеризує пропускну здатність дренуючого асфальтобетону на водонепропускну нижньому шарі, оскільки результатом випробування є поєднання вертикальної та горизонтальної проникності. Схема визначення вертикальної та горизонтальної проникності зображено на рисунку 3.29.

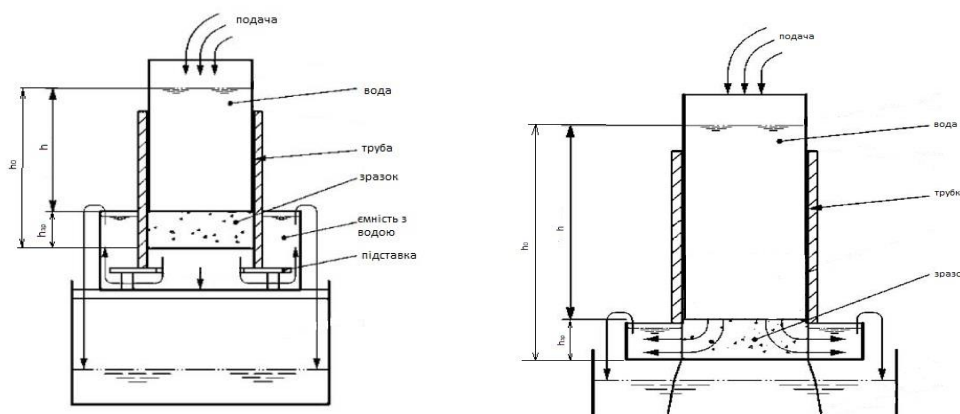


Рисунок 3.29 – Схема визначення вертикальної та горизонтальної водопроникності

Горизонтальна проникність, згідно [31] визначається за формулою:

$$K_h = \frac{Q_h \cdot l}{(H + P + 0,5l) \cdot (\pi \cdot D \cdot l)}, \quad (3.4)$$

де K_h — горизонтальна проникність, в метрах за секунду, (м/с);

Q_h — горизонтальний потік через зразок у метрах кубічних за секунду (м³/с);

l — товщина зразка, в метрах (м);

$(H + P + 0,5l) = h$ — фактична висота стовпа води, в метрах (м);

$(\pi \cdot D \cdot l)$ — вертикальна площа зразка (площа зливу), у метрах квадратних (м²);

D — діаметр зразка, в метрах (м).



Рисунок 3.30 – Процес лабораторного визначення вертикальної та горизонтальної водопроникності

Результати визначення необхідних параметрів та показників вертикальної та горизонтальної проникності зображено в таблиці 3.11 та 3.12 відповідно.

Таблиця 3.11 – Результати визначення коефіцієнта вертикальної проникності зразків ДАБ-11

Ч. ч.	Найменування параметрів	Фактичні значення визначених показників	
		Гіраторне ущільнювання	Ущільнювання методом Маршала
1	Висота води на зразком, см	12,5	12,5
2	Час проходження води через зразок, с	39,25	14,50
3	Об'єм води, яка пройшла через зразок, см ³	1000	1000
4	Вертикальний потік Q_v, за об'ємом, см³/с	25,48	68,97
5	Коефіцієнт вертикальної проникності за EN 12697-19, м/с	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$

Таблиця 3.12 – Результати визначення коефіцієнта горизонтальної проникності зразків ДАБ-11

Ч. ч.	Найменування параметрів	Фактичні значення визначених показників	
		Гіраторне ущільнювання	Ущільнювання методом Маршала
1	Висота води на зразком, см	12,5	12,5
2	Час проходження води через зразок, с	19,30	8,60
3	Об'єм води, яка пройшла через зразок, см ³	1000	1000
4	Горизонтальний потік Q_h, за об'ємом, см³/с	51,81	116,28
5	Коефіцієнт горизонтальної проникності за EN 12697-19, м/с	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$

Можна побачити, що у випадку, коли зразок знаходиться у воді, значення вертикальної та горизонтальної проникності для зразків заформованих різними методами, відрізняється. Можливо це обумовлено тим, що за певних умов проведення випробування, встановленому об'єму води 1000 см^3 потрібно проштовхнути різний об'єм води, в залежності від зразка. Але прослідковується певна залежність. В обох випадках значення проникності рівномірно знижується на $0,35 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ на 1 см збільшення товщини зразка.

В висновку можна стверджувати, що вільна вертикальна проникність води через зразок за певний час Q_v залежить від товщини виготовленого зразка і для типу ДАБ 11 з вмістом бітуму 6,0 % на кожен 1 см збільшення товщини зразка зменшується на 0,11 см/с або на $8,91 \text{ см}^3/\text{с}$ за об'ємом незалежно від методу проведення випробування. Однак в випадку, коли зразок знаходиться у воді, значення є меншим, що пояснюється тим, що вода не тільки повинна пройти через пористе середовище, а ще й проштовхнути певний об'єм води.

Якщо ж розглядати значення коефіцієнта вертикальної та горизонтальної проникності, до якого в різних країнах саме і встановлюються вимоги (по мінімальному та максимальному допустимому значенню), то для випробування можна виготовляти зразки методом гіраторного, або ударного ущільнювання, при цьому досягнувши однакових показників середньої щільності та залишкової пористості. Але в порівнянні з коефіцієнтом фільтрації, в якому значення не змінюється в залежності від товщини, в цьому випадку потрібно встановлювати вимоги до кожного методу виготовлення зразків, або вводити необхідний коефіцієнт перерахунку для певної товщини.

Таким чином в подальшому можна встановлювати певні залежності та вимоги до мінімального та максимального значення коефіцієнта проникності. Згідно п. 5.3 таблиці 5 [15] значення мінімальної залишкової пористості для ДАБ повинно становити 18 %. Наприклад, оскільки в

випробуванних зразках ДАБ-11 з вмістом бітуму 6,0 % залишкова пористість становить 23,2 %, значення вертикальної проникності $4,4 \cdot 10^{-3}$ м/с за Маршалом і $2,8 \cdot 10^{-3}$ м/с за гіратором, а значення горизонтальної проникності $2,9 \cdot 10^{-3}$ м/с та $1,3 \cdot 10^{-3}$ м/с відповідно, то при даних умовах, мінімальна вертикальна проникність повинна становити $3,4 \cdot 10^{-3}$ м/с та $2,1 \cdot 10^{-3}$ м/с відповідно, а горизонтальна $2,2 \cdot 10^{-3}$ м/с за Маршалом та $1,0 \cdot 10^{-3}$ м/с за гіратором. Також можливо встановити проникність для необхідної запроєктованої товщини.

Встановлення такого показника вертикальної та горизонтальної проникності більше чим достатньо, щоб відвести воду в найбільш насичений місяць по значенню максимальної кількості зливових опадів, або пікових короткочасних злив.

Висновки до розділу 3

1. Матеріали, необхідні для дренуючих асфальтобетонів, включають мінеральні заповнювачі, в'язучі речовини та стабілізуючі добавки (наприклад, волокно). Порівняно зі щільним, дренуючий асфальтобетон на всіх стадіях (виробництво, укладання, ущільнення, експлуатація) вимагає вкрай високої уваги та жорстких вимог до щебених матеріалів.

2. Для виробництва асфальтобетонних сумішей для дренуючого асфальтобетону, треба використовувати бітумне в'язуче, яке є на одну-дві марки нижче за марку бітумного в'язучого, яке зазвичай використовують у районі будівництва. При цьому, обов'язково треба використовувати бітум, модифікований полімером. Тому, було проведено випробування всіх складових матеріалів перед початком експериментів з підбору складу дренуючого асфальтобетону.

3. Експериментальними дослідженнями підбору складу дренуючих асфальтобетонів встановлено, що його потрібно виконувати таким чином,

щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, для видалення води з поверхні дороги. Це досягається за рахунок особливостей зернового складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь.

4. Відповідно до об'ємних підходів основною вимогою є забезпечення потрібного вмісту пустот в ущільнених зразках. Як наслідок, було вироблено асфальтобетонні суміші з максимальним розміром зерен 16 мм, 11 мм та 8 мм та вмістом бітуму від 5,5 % до 7,5 %.

5. Встановлено, що ущільнення зразків виконується методом Маршала. Після виготовлення зразків було визначено їх середню густину, пористість мінерального кістяка, залишкову пористість.

6. Визначено, що відповідно до об'ємних підходів основною вимогою є забезпечення потрібного вмісту пустот в ущільнених зразках. Але для накопичення даних, уточнення характеристик було визначено показник міцності за Маршалом та деформацію.

7. Згідно випробувань матеріалів для приготування, підбору складу суміші та дотримання технологій та температур, було досягнуто необхідного вмісту пор при встановлених мінімальних та максимальних кількостях бітумного в'язучого та встановленого процесу ущільнення зразків.

8. Визначено показник структури дренуючого асфальтобетону – заповнення пор мінерального остова бітумом, який можна використовувати як умови підбору складу суміші або як параметри для оцінки суміші після укладання та ущільнення. Для зразка ДАБ-16 відсоток пор, заповнених в'язучим, у мінеральному заповнювачі становить 28 %, для ДАБ-11 – 34 %, для ДАБ-8 – 39 % (при мінімальному вмісту бітумного в'язучого), що свідчить про досягнення достатнього забезпечення дренувальної здатності дренуючого асфальтобетону при оптимальній залишковій пористості.

9. Визначено коефіцієнт фільтрації та коефіцієнт вертикальної та горизонтальної водопроникності дренуючого асфальтобетону.

Встановлено, що в разі визначення вертикального проходження води через зразок, за певний час Q_v залежить від товщини виготовленого зразка і для типу ДАБ 11 з вмістом бітуму 6,0 % на кожен 1 см збільшення товщини зразка зменшується на 0,11 см/с або на 8,91 см³/с за об'ємом незалежно від методу проведення випробування (зракок у воді, або ні). Однак в випадку, коли зразок знаходиться у воді, значення є меншим, що пояснюється тим, що вода не тільки повинна пройти через пористе середовище, а ще й проштовхнути певний об'єм води через посудину, яка підтримує рівень води з рівнем верху зразка.

У висновку визначено та встановлено мінімально допустимий коефіцієнт вертикальної та горизонтальної проникності, завдяки встановленню залежності між вмістом пор та коефіцієнтом проникності.

10. Встановлено, що щільна суміш Supergravel з максимальним номінальним розміром зерен 12,5 мм має коефіцієнт фільтрації в 1000 разів менший, ніж дренажний асфальтобетон, що матиме неабиякий ефект на автомобільній дорозі в напрямку видимості, зчеплення, аквапланування та комфорту.

11. Отриманих в наслідок проведених досліджень величин вертикальної та горизонтальної проникності більше чим достатньо, щоб відвести воду в найбільш насичений місяць по значенню максимальної кількості зливових опадів, або або пікових короткочасних злив.

Результати досліджень третього розділу викладено у наступних публікаціях: [2, 4, 28, 31].

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Особливості проєктування дренаючого асфальтобетону

Установлено, що додатковим заходом боротьби з негативним впливом води на дорожню конструкцію може бути застосування дренаючого асфальтобетону, який дозволяє під час опадів швидко, без затримки на поверхні покриття, відводити поверхневу воду через пори в асфальтобетоні до узбіч. Це, в свою чергу, зменшує негативний вплив води на довговічність дорожнього покриття та збільшує безпеку руху під час атмосферних опадів. Тому, доцільно сформулювати етапи проєктування таких асфальтобетонів.

Дренаючий асфальтобетон, не зважаючи на те, що його досить давно використовують як матеріал покриття автомобільних доріг в країнах Америки і Європи, в Україні на теперішній час не застосовують. Також відсутній випуск відповідних асфальтобетонних сумішей. Цей матеріал має свої особливості проєктування складу

Підбір суміші виконують таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, по яких вода з поверхні дороги видаляється набагато швидше, ніж з покриття із щільних асфальтобетонних сумішей. Це досягається за рахунок особливості гранулометричного складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь. Причому відведення води відбувається набагато швидше, ніж з покриття, влаштованого із традиційних щільних асфальтобетонних сумішей. Це досягається за рахунок особливості гранулометричного складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь, на відміну від типових щільних і щебенево-мастикових асфальтобетонів. Як правило, пористість дренаючих асфальтобетонів достатньо висока (18–28 %), пористі суміші готують із гранично високим вмістом щебеню (до 90 %). Тому

дренуючий асфальтобетон вимагає вкрай високої уваги та жорстких вимог до щебневих матеріалів.

Проектування дренуючого асфальтобетону включає вибір заповнювачів і в'язучого, підбір гранулометричного складу та оптимального вмісту в'язучого, а також випробування асфальтобетонної суміші на стікання та асфальтобетону на стирання та водостійкість. Першим кроком у процесі проектування дренуючих асфальтобетонних сумішей є вибір матеріалів, придатних для їх виробництва. До заповнювача висуваються жорсткі вимоги до стираності, вмісту подрібнених зерен, вмісту зерен лещадної та голчастої форм, а також до адсорбційної спроможності. Крупний заповнювач для дренуючих асфальтобетонів повинен бути достатньо міцним, щоб витримувати транспортні навантаження, оскільки дренуючий асфальтобетон складається із заповнювача однакового розміру з малим вмістом дрібних часток і має структуру «камінь на камені».

Щебінь, який використовують для виробництва дренуючого асфальтобетону, повинен мати значення стираності менше ніж 30 %. При використанні менш міцного щебеню слід бути обережним, оскільки є ймовірність надмірного руйнування заповнювача під час виробництва асфальтобетонної суміші та її ущільнення. Щебінь повинен мати щонайменше 90 % часток із двома гранями та 100 % часток із однією гранню. Відсоток зерен лещадної та голчастої форми не повинен перевищувати 5 % і 20 %, що відповідає співвідношенням 5:1 та 2:1.

Подібно до щільних сумішей, ступінь поглинання може впливати на експлуатаційні властивості дренуючого асфальтобетону. Перевагу треба надавати заповнювачам з відносно низьким водопоглинанням (менше ніж 2 %). У таблиці 4.1 представлено основні вимоги до щебеню для виробництва сумішей.

Таблиця 4.1 – Вимоги до щебеню для виробництва дренуючих асфальтобетонних сумішей

Ч. ч.	Назва показника	Вимоги
1	Стираність, % за масою	не більше ніж 30
2	Вміст зерен лещадної та голчастої форми, % за масою	не більше ніж 5 (5:1) не більше ніж 20 (2:1)
3	Вміст дроблених зерен, % за масою	не менше ніж 90 (2 грані) 100 (1 грань)
4	Морозостійкість (5 циклів), %	не більше ніж 10 (сульфат натрію) не більше ніж 15 (сульфат магнію)
5	Пористість в не ущільненому стані, %	не менше ніж 45

На другому етапі виконують підбір гранулометричного складу в залежності від області застосування дренуючих асфальтобетонів згідно технічних норм. У кожній конкретній європейській країні ці норми прив'язані до наявних умов і накопиченого досвіду, і на підставі них видано власні нормативні документи. Так як в нашій країні ці норми відсутні, то відповідно подібного клімату доцільно розглядати вимоги до гранулометричних складів дренуючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині в залежності від максимального розміру зерен щебеню та графічно порівняти з щільним асфальтобетоном типу А згідно ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [10] та щебенево-мастиковим асфальтобетоном згідно ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [12] (рисунок 4.1). Гранулометричні склади дренуючих асфальтобетонних сумішей типу ДАБ-16, ДАБ-11, ДАБ-8 наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранулометричні склади дренуючих асфальтобетонних сумішей типу ДАБ-16, ДАБ-11, ДАБ-8

Розмір отворів сита, мм	Повний прохід, % за масою, в залежності від типу дренуючого асфальтобетону		
	ДАБ 16	ДАБ 11	ДАБ 8
22,4	100	-	-
16,0	90-100	100	-

11,2	5-15	90-100	100
8,0	-	5-15	90-100
5,6	-	-	5-15
2,0	5-10	5-10	5-10
0,063	3-5	3-5	3-5

На третьому етапі підбирають оптимальний вміст бітумного в'язучого і перевіряють якість готового дренажного асфальтобетону. Вибір оптимального вмісту бітумного в'язучого виконують виходячи з економічних міркувань і накопиченого досвіду. Вміст в'язучого залежить від типу суміші. Так, для типу ДАБ-8 мінімальний вміст бітуму становить 6,5 %, а для типу ДАБ-16 — 5,5 %.

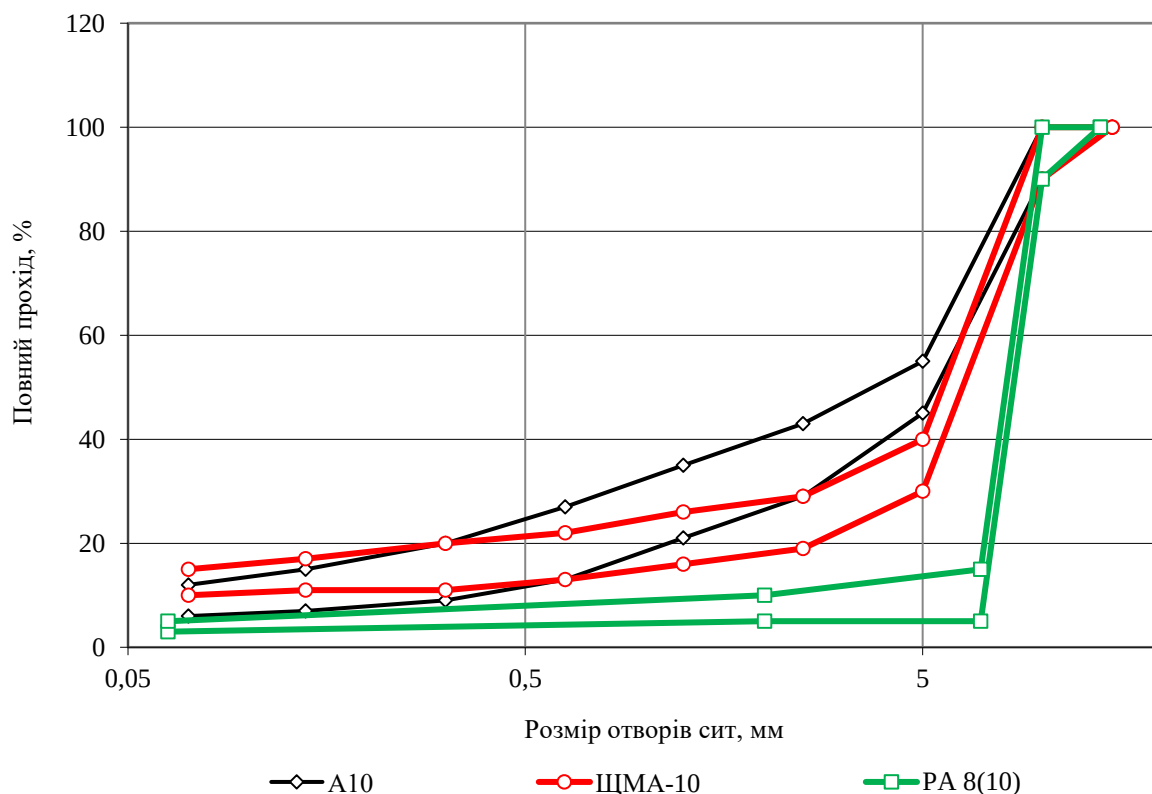


Рисунок 4.1 – Порівняння вимог до гранулометричного складу ДАБ 8 (10), А-10 та ЩМА-10

Для приготування дренажних асфальтобетонів рекомендовано використовувати бітум, модифікований полімером, на дві марки вище ніж зазвичай використовують в даному регіоні в залежності від максимальної

температури повітря впродовж 7 діб. Для підвищення міцності та довговічності рекомендовано також використання волокнистих стабілізуючих добавок в кількості від 0,3 % до 0,6 %.

Оптимальний вміст в'язучого визначають за результатами виконання ряду випробувань суміші та зразків, ущільнених методом Маршала.

До них відносяться:

- визначення стікання в'язучого (не більше ніж 0,3 %);
- пористість (не менше ніж 18 %);
- зносостійкість зразків до і після старіння (втрати за масою не більше ніж 20 % і 30 %, відповідно);
- водостійкість (залишкова міцність не менше ніж 80 %).

Виробництво запроєктованої суміші треба виконувати у змішувачах періодичної дії. Каркас суміші складається з однофракційного щебеню, тому питома поверхня нагріваемого матеріалу є набагато меншою ніж для щільних сумішей і піддається більшому впливу полум'я, тому треба слідкувати, щоб температура матеріалу була не дуже високою та постійною. Температура суміші на виході із змішувача зазвичай повинна становити від 140 °С до 160 °С. Вироблену суміш не дозволяється зберігати в бункерах-накопичувачах.

Температурний діапазон та часовий діапазон між завершенням виробництва суміші та її укладанням суміші не дуже великий, що пов'язано з низькою температурою її випуску. Це обумовлює те, що час транспортування суміші не повинен перевищувати 45 хвилин, а укладення суміші має бути завершено за 60 хвилин після її виробництва.

Вироблені асфальтобетонні суміші укладають на водонепроникну основу з якою вода вільно стікає до узбіччя.

Основа повинна бути водонепроникною і водовідштовхувальною. Вода повинна вільно стікати. Для запобігання проникнення води в нижні шари повинна бути забезпечена гідроізоляція. Перед укладанням

асфальтобетонної суміші основу необхідно очистити за допомогою відповідного обладнання.

Під шаром дренуючого асфальтобетону влаштовують гідроізоляцію шляхом нанесення модифікованого бітуму, або повільнорозпадну емульсію бітумну дорожню з вмістом бітуму 50 % з витратою від 2,0 кг/м² до 3,0 кг/м² та , за необхідності, щебеню фракції 8/11 з витратою від 5 кг/м² до 10 кг/м².

Основними умовами влаштування шару дренуючого асфальтобетону є:

- суміш повинна мати однорідну будову на ділянці будівництва;
- послідовність укладання повинна бути запланована і погоджена таким чином, щоб виключалися простої та перерви;
- укладання суміші треба виконувати на всю ширину покриття, використовуючи за потреби метод «гаряче до гарячого»;
- ущільнення треба виконувати котками з гладкими вальцями;
- відкриття руху можна виконувати тільки після достатнього охолодження, не раніше ніж через 24 години після укладання.

Враховуючі головне завдання дренуючого асфальтобетону, яке полягає у відведенні води по схилу, то виникає потреба у розробленні водовідведень. Типова технологічна карта улаштування шару зносу з дренуючого асфальтобетон товщиною 5 см та рекомендаційні конструкції водовідведення відображені в додатку А.

Незважаючи на свої переваги з точки зору споживчих властивостей, при застосуванні дренуючих асфальтобетонів в умовах України можуть виникнути проблеми пов'язані із застосуванням протиожедних матеріалів у вигляді піщано-соляних сумішей. Подібні матеріали забивають пори в дренуючому асфальтобетоні. Застосування дренуючого асфальтобетону можливо при переході на хімічний спосіб боротьби з ожеледицею (застосування чистих солей), а також організацією промивання коліс автомобілів при в'їзді на ділянки з дренуючим асфальтобетоном, або

очищення та промивання в період експлуатаційного утримання покриття з дренуючого асфальтобетону.

4.1.1 Встановлення рекомендованих марок та вимог до бітумів за кліматичними районами роботи дренуючих асфальтобетонів та розроблені конструкції дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг

Враховуючи те, що дренуючий асфальтобетон містить незначну кількість дрібних зерен та на 90 % складається переважно з однофракційного щебеню, для його виробництва необхідно використовувати більш в'язкі бітуми, ніж це наразі передбачено для щільних асфальтобетонних сумішей, оскільки в дренуючому асфальтобетоні практично не відбувається структурування бітуму.

Враховуючи максимальну інтенсивність зливових опадів та районування за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону та розробленими відповідно до цих параметрів кліматичними картами України в розділі 2 (рисунок 2.5 та рисунок 2.6), визначеного методу розрахунку товщини покриття в залежності від зливових опадів, було встановлено вимоги до бітуму для забезпечення колієстійкості та розроблено конструкції дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг (таблиці 4.3 – 4.6). Оскільки шар дренуючого асфальтобетону влаштовують як шар зносу, то для нього не встановлюють розрахункові характеристики.

Слід також зазначити, що товщину шару з дренуючого асфальтобетону треба призначати з урахуванням кількості опадів в районі будівництва, поперечного та повздовжнього похилу основи, а також дренуючих властивостей дренуючого асфальтобетону.

Таблиця 4.3 – Вимоги до бітуму для дренуючого асфальтобетону відповідно до районування за кліматичними умовами роботи

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Значення для марок		
		БМКП 20/35-75 (А-3)	БМКП 35/50-70 (А-2)	БМКП 50/70-65 (А-1)
1	Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	від 20 до 35	від 36 до 50	від 51 до 70
2	Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С, не нижче	75	70	65
3	Розтяжність (дуктильність) за температури 0 °С, см, не менше	6	8	10
4	Температура крихкості, °С, не вище	мінус 12	мінус 16	мінус 20
5	Еластичність за температури 25 °С, %, не менше	75	75	75
6	Зміна температури розм'якшеності, °С, не	5	5	5
7	Залишкова пенетрація за температури 25 °С, не менше	80	75	70
8	Зчеплюваність зі щебенем, бал	4,5	4,5	4,5

Таблиця 4.4 – Конструкція дорожнього одягу автомобільної дороги І категорії з дренуючим асфальтобетоном

Матеріал	Товщина, см
Дренуючий асфальтобетон типу ДАБ 11 на бітумі марки БМКП 20/35-75	5

АБ.АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011 на бітумі, комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавками, марки БМКП 40/60-68 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016	10
АБ.АСГ.Кр.П.А-Б.НП.І.БНД 70/100 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011	10
ЩПС-40, укріплена цементом, марки М 40 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016	17
ЩПС С5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013	21
Пісок згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95	15
Ґрунт земляного полотна	-

Таблиця 4.5 – Конструкція дорожнього одягу автомобільної дороги
II категорії з дренуючим асфальтобетоном

Матеріал	Товщина, см
Дренуючий асфальтобетон типу ДАБ 8 на бітумі марки БМКП 35/50-70	5
АБ.АСГ.Др.Щ.А.НП.І згідно з СОУ 45.2-00018112-057:2010 на бітумі, комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавками, марки БМКП 40/60-59 згідно з ДСТУ Б В.2.7-313:2016	6
АБ.АСГ.Кр.П.А-Б.НП.І.БНД 70/100 згідно з ДСТУ Б В.2.7-119:2011	10
ЩПС-40, укріплена цементом, марки М 40 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016	17
ЩПС С5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013	21
Пісок згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95	15
Ґрунт земляного полотна	-

Таблиця 4.6 – Конструкція дорожнього одягу автомобільної дороги
III категорії з дренуючим асфальтобетоном

Матеріал	Товщина, см
Дренуючий асфальтобетон типу ДАБ 8 на бітумі марки БМКП 35/50-70	4

АБ.АСГ.Др.Щ.Б.НП.І.БНД 70/100 ДСТУ Б В.2.7-119:2011	згідно	з	6
ЩПС-20, оброблена комплексом в'язучих, марки М 20 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39:2016			10
ЩПС С7 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30:2013			12
Пісок згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95			15
Грунт земляного полотна			-

4.2 Рекомендації щодо виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону

Проаналізувавши інформацію, нормативно-технічну базу європейських країн, властивості та принципи, провівши всі експериментальні та теоретичні дослідження та було розроблено та впровадженно «Рекомендації з виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону» [15].

Ці рекомендації поширюються на виробництво та влаштування дренуючих асфальтобетонних сумішей (ДАБС) та асфальтобетони з них (ДАБ) на автомобільних дорогах загального користування та призначені для використання дорожніми підприємствами і організаціями, незалежно від форми їх власності, які виконують роботи з будівництва і ремонту автомобільних доріг загального користування.

У цих рекомендаціях подано:

- класифікацію за найбільшим максимальним номінальним розміром зерен заповнювача;
- технічні вимоги до матеріалів, до складу ДАБС, до властивостей ДАБ та ДАБС;
- рекомендовані параметри з виробництва, влаштування та ущільнення дренуючих асфальтобетонних сумішей;
- правила приймання та методи контролювання робіт.

Дренуюча асфальтобетонна суміш рекомендується для застосування в якості шару зносу дорожнього покриття з дренуючими властивостями.

4.2.1 Встановлення вимог до матеріалів, складу ДАБС та властивостей ДАБ та ДАБС

Рекомендовано за найбільшим максимальним номінальним розміром зерен заповнювача ДАБС та ДАБ поділяти на види:

— ДАБС 11 та ДАБ 11 — з максимальним номінальним розміром зерен заповнювача 11 мм;

— ДАБС 8 та ДАБ 8 — з максимальним номінальним розміром зерен заповнювача 8 мм.

Умовна позначка ДАБС та ДАБ на стадії її експериментального застосування складається з її виду за максимальним номінальним розміром зерен заповнювача та позначення цих рекомендацій.

У процесі проектування ДАБС дуже важливим етапом є вибір матеріалів, придатних для їх виробництва.

Для виробництва ДАБС потрібно використовувати бітуми нафтові дорожні в'язкі, модифіковані полімером, марки БМПП 35/50-70 та БМПП 50/70-65 згідно з [9] або бітуми нафтові дорожні в'язкі, модифіковані комплексом добавок, марки БМКП 35/50-70 та БМКП 50/70-65 згідно з [8].

Зчеплюваність бітуму із заповнювачем, що використовують для виробництва ДАБС, повинна становити не менше ніж 4,5 бали (визначають згідно з ДСТУ 8787). У разі незадовільної зчеплюваності бітуму з поверхнею заповнювача, потрібно використовувати добавки на основі поверхнево-активних речовин (адгезійні або комплексної дії) згідно з [7] та/або виконувати інші технологічні заходи, що підвищують зчеплюваність бітуму з поверхнею заповнювача, наприклад, виконувати активацію поверхні мінеральних матеріалів.

Особливу увагу було приділено заповнювачам. Вимоги до заповнювачів є досить різноманітними і вони, в основному, стосуються

основних властивостей, які впливають на характеристики ДАБ і пов'язані з розміром зерен. Це призвело до появи багатьох вимог до окремих фракцій – одні до крупних (активних) заповнювачів, інші – до дрібних. Вимоги до крупного заповнювача насамперед представлені його міцністю (стійкість до дроблення або роздавлювання), відсотком подрібненості, вмістом пилюватих частинок, формою зерен, стійкістю до полірування та стійкістю до зовнішніх факторів. Вимоги до дрібного заповнювача представлені гострокутністю (показником текучості), вмістом пилюватих частинок та відсутністю в них частинок, що набрякають.

Виходячи з типу каркасу із крупного заповнювача основною його властивістю є стійкість до дроблення. Цю стійкість в більшості європейських країн оцінюють з використання методу Los Angeles (індекс LA). Діапазон допустимого індексу LA в національних специфікаціях зазвичай становить від 20 % до 30 %. Загалом, стійкість до дроблення має вирішальне значення, і її необхідно перевіряти, оскільки використання слабких заповнювачів може призвести до незадовільної роботи всього шару. В Україні додатково оцінюють міцність крупного заповнювача за дробильністю при стисненні, тобто ми використовуємо додаткові показники для оцінювання міцності крупного заповнювача.

Тому для виробництва ДАБС треба використовувати щебінь та пісок з відсівів із вивержених або метаморфічних гірських порід та мінеральний порошок згідно з ДСТУ EN 13043 [11]. Вимоги до щебеню та піску визначені в рекомендаціях наведено в таблицях 4.7 та 4.8.

Таблиця 4.7 — Вимоги до властивостей крупного заповнювача (щебеню) для виробництва ДАБС

Ч. ч.	Найменування показника	Категорія згідно з ДСТУ EN 13043
1	Форма зерен	SI ₁₅
2	Стійкість до подрібнення	LA ₂₀ , SZ ₁₈
3	Водопоглинання	W _{cm} 0,5
4	Морозостійкість	F ₁

5	Вміст пилюватих і глинистих часток у заповнювачі: — фракції 2/5, 5/8 — фракції 8/11	f_2 f_1
---	---	----------------

Таблиця 4.8 — Вимоги до властивостей дрібного заповнювача (піску) для виробництва ДАБС

Ч. ч.	Найменування показника	Категорія згідно з ДСТУ EN 13043
1	Фракція	G_{F85}
2	Вміст пилюватих і глинистих часток	f_3

Застосування стабілізуючих добавок обов'язкове. Вимог до стабілізувальних добавок практично не існує. Тим паче, перевірити їх у виробничій лабораторії проблематично. В основному для підтвердження якості стабілізувальної добавки використовують показник стікання. В окремих країнах встановлено вимоги до її вологості та термостабільності. За відповідними показниками стабілізувальні добавки також оцінюють в Україні. Тому, згідно рекомендацій, для виробництва ДАБС треба використовувати стабілізуючі добавки згідно з [12].

Найперше та найважливіше завдання, це якісно підібрати склад ДАБС, оскільки це в подальшому може сприяти уникненню ряду проблем. Перший крок, який необхідно зробити – це встановити найбільший номінальний розмір зерен заповнювача у суміші. Під час розгляду цього питання треба враховувати розташування шару ДАБС у конструкції дорожнього одягу, розрахункову товщину шару після ущільнення, транспортне навантаження, розташування ділянки дороги тощо.

Зерновий склад мінеральної частини ДАБС має відповідати вимогам таблиці 4.9. Мінімальну кількість бітуму та стабілізуючої добавки у складі ДАБС наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.9 — Вимоги до зернового складу ДАБС

Вид	Вміст мінеральних зерен, % за масою, менших даного розміру, мм						
	22	16	11	8	5	2	0,063
ДАБС 11		100	90–100	5–15	-	5–10	3–5
ДАБС 8			100	90–100	5–15	5–10	3–5

Таблиця 4.10 — Вимоги до мінімального вмісту бітумного в'язучого та стабілізуючої добавки у складі ДАБС

Вид	Мінімальний вміст бітумного в'язучого, % за масою	Мінімальний вміст стабілізуючої добавки, % за масою
ДАБС 11	6,0	0,4
ДАБС 8	6,5	0,5

Показник стікання в'язучого з ДАБС повинен становити не більше ніж 0,15 % за масою.

Як вже визначено найбільш використовуваними у всьому світі є об'ємні властивості ДАБ, згідно з якими основною вимогою є забезпечення потрібного вмісту пустот в ущільнених зразках. Механічні вимоги визначають рідко, а властивості, які пов'язані з експлуатаційною надійністю, переважно застосовують до ДАБ для автомобільних доріг із значним транспортним навантаженням.

У таблиці 4.11 наведено встановлені рекомендовані вимоги до ДАБ.

Ч. ч.	Найменування показника	Вимоги до властивостей ДАБ
1	Залишкова пористість, % за об'ємом	від 18 до 26
2	Коефіцієнт довготривалої водостійкості, не менше	0,90
3	Проникність (горизонтальна та вертикальна)	не нормується, визначення обов'язкове

4	Глибина колії після 20000 проходів колеса, при еквівалентному навантаженні на нього 57,5 кН та температурі випробування 50 °С	не нормується, визначення обов'язкове
5	Стираність	не нормується, визначення обов'язкове
Примітка. Показник 3, 4 та 5 визначають під час підбору складу ДАБС з метою накопичення даних та встановлення залежності проникності від залишкової пористості.		

Варто зауважити, що показник 3, 4 та 5 визначають під час підбору складу ДАБС з метою накопичення даних та встановлення залежності проникності від залишкової пористості.

4.2.2 Встановлення рекомендованих параметрів з виробництва, влаштування та ущільнення дренуючих асфальобетонних сумішей

Дренуючі асфальтобетонні суміші виробляють, влаштовують та ущільнюють за проектно-технологічною документацією, розробленою згідно з ДБН А.3.1-5 [14] та затвердженою в установленому порядку.

Рекомендовані температури нагрівання бітумного в'язучого під час виробництва ДАБС, температуру нагрівання заповнювачів на виході із сушильного барабана, температуру ДАБС на виході зі змішувача та на початку ущільнення наведено в таблиці 4.12. Зазначені температури уточнюють експериментально для кожного запроектованого складу ДАБС у конкретних умовах виробництва.

Таблиця 4.12 — Температура нагрівання складових під час виробництва ДАБС і температура ДАБС на виході із змішувача та на початку ущільнення

Ч. ч.	Марка бітуму	Температура, °С			
		бітумного в'язучого, що подають у змішувач	заповнювачів на виході із сушильного барабана	ДАБС на виході зі змішувача	ДАБС на початку ущільнення
1	БМПП 35/50-70, БМКП 35/50-70	від 160 до 170	від 170 до 180	від 155 до 170	від 145 до 160
2	БМПП 50/70-65, БМКП 50/70-65	від 150 до 160	від 165 до 175	від 150 до 165	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. Можливість зниження температури встановлюють згідно з [7].					

Допустима похибка дозування компонентів під час виробництва ДАБС не повинна перевищувати:

- для щебеню та піску $\pm 3 \%$;
- мінерального порошку та бітуму $\pm 1,5 \%$;
- стабілізуючої добавки $\pm 1,0 \%$

Відхилення зернового складу мінеральної частини ДАБС у межах вимог таблиці 4.9 не допускається.

Виробництво запроектованої суміші треба виконувати у змішувачах періодичної дії. Каркас суміші складається з однофракційного щебеню, тому питома поверхня нагріваємого матеріалу є набагато меншою, ніж для щільних сумішей і піддається більшому впливу полум'я, тому треба слідкувати, щоб температура матеріалу була не дуже високою та постійною.

ДАБС транспортують до місця укладання автомобілями-самоскидами. Кузови автомобілів-самоскидів повинні бути чистими, з гладкою поверхнею, обладнані водонепроникним брезентовим тентом достатнього розміру для надійного накриття матеріалу у разі повного завантаження кузова, а за потреби — термоізованими, з метою

збереження призначеної температури до місця влаштування. Кількість автомобілів-самоскидів для транспортування ДАБС та їх продуктивність повинні бути узгоджені з продуктивністю АБЗ та асфальтоукладача для забезпечення безперервності процесу укладання.

Перед кожним завантаженням ДАБС поверхню кузова необхідно очистити від будь-яких накопичень бітумінозних та інших матеріалів і обробити спеціальним мастилом не нафтового походження (водний мильний розчин, сухий мильний порошок тощо). Якщо на дні кузова вантажівки утворюється надлишок мастила, його необхідно видалити підйомом кузова перед завантаженням ДАБС. Використання для оброблення кузова органічних речовин, здатних розчиняти бітумне в'язуче, заборонено.

Температурний діапазон та часовий діапазон між завершенням виробництва суміші та її укладанням суміші не дуже великий, що пов'язано з низькою температурою її випуску. Це обумовлює те, що час транспортування суміші не повинен перевищувати 45 хвилин. Температура ДАБС на автомобілях-самоскидах на початку вивантаження в асфальтоукладач повинна відповідати вимогам таблиці 4.12. Укладання шару з ДАБС виконують за температури повітря не нижче ніж 10°C. Не допускається влаштування шарів дорожнього одягу з ДАБС у дощову погоду, на мокрий або замерзлий шар основи.

Влаштування ДАБС виконують по всій ширині покриття. Якщо ширина укладання буде більшою за технічну ширину укладання асфальтоукладачем, дозволено укладати ДАБС декількома асфальтоукладачами. При цьому відстань між асфальтоукладачами повинна становити від 10м до 30м. Якщо ДАБС однакового складу надходить на ділянку будівництва більше ніж з одного АБЗ, то ДАБС з кожного АБЗ повинна укладатись окремим асфальтоукладачем.

Продуктивність асфальтоукладача, асфальтобетонного заводу, транспортних засобів та ущільнюючих котків повинні бути узгоджені так,

щоб асфальтоукладач працював безперервно та рухався з постійною швидкістю. Зупинки асфальтоукладача слід звести до мінімуму, оскільки вони негативно впливають на рівність влаштованого шару покриття. Швидкість асфальтоукладача не повинна бути більшою ніж 3 м/хв.

Після проходу асфальтоукладача на поверхні укладеного шару не повинно бути раковин, нерівностей, порушення суцільності й інших дефектів. До початку ущільнення шару котками помічені дефекти необхідно виправити вручну шляхом додавання й розрівнювання гарячої суміші або видаленням матеріалу.

Одразу після укладання ДАБС її рівномірно ущільнюють укочуванням. Схему руху котків приймають аналогічною схемі руху при ущільненні гарячих асфальтобетонних сумішей. Прийнятої схеми руху котків необхідно дотримуватись на всій ділянці та площі, щоб забезпечити необхідну щільність шару. Для ущільнення укладеного шару ДАБС треба використовувати гладковальцеві котки масою не менше ніж 8 т. Забороняється використовувати пневматичні котки. Швидкість руху котків на початку ущільнення не повинна перевищувати більше ніж 5 км/год. Котки повинні рухатись ведучим вальцем вперед у напрямку влаштування шару. Ущільнення повинно розпочинатися з нижньої кромки шару, чергові проходи котка повинні зміщуватись у напрямку вищої кромки з перекриттям попередніх проходів.

Для запобігання прилипанню ДАБС до вальців котка їх поверхню необхідно орошувати водою або водним мильним розчином. Якщо виникає необхідність зупинки котка, його необхідно вивести за межі покриття. Непрацюючі котки на покритті можуть викликати накопичення небажаних деформацій у влаштованому шарі.

У процесі ущільнення для забезпечення необхідного рівня ущільнення рекомендовано використовувати радіоізотопні щільноміри. ДАБС треба ущільнити до досягнення щільності, що становить не менше ніж 0,98 від проектного значення щільності. Завершальне ущільнення

повинне розпочинатися з вищої кромки шару, а чергові проходи котка повинні зміщуватись у напрямку нижчої кромки з перекриттям попередніх проходів.

Товщина ущільненого асфальтобетонного шару дорожнього одягу із ДАБС 11 має становити від 5 см до 6 см, з ДАБС 8 — від 4 см до 5 см.

Рух транспортних засобів по ущільненому шару треба відкривати не раніше ніж через 24 год. Впродовж 5 діб з моменту влаштування шару з ДАБС на ньому заборонено розворот транспортних засобів, різке гальмування та інші дії, що можуть призвести до відриву окремих зерен мінерального матеріалу.

Під час експлуатаційного утримання автомобільних доріг із шаром зносу з дренуючого асфальтобетону для боротьби із ожеледицею заборонено використовувати піщано-соляні суміші. Необхідно здійснювати превентивні заходи з нанесення рідких протиожеледних матеріалів.

4.2.3 Встановлення вимог до контролю якості та правил приймання робіт

Готова дренуюча асфальтобетонна суміш підлягає приймально-здавальному контролюванню. Приймання готової ДАБС починають лише в разі позитивних результатів вхідного контролювання складників ДАБС та позитивних результатів операційного контролювання її виробництва.

На етапі вхідного контролювання складників ДАБС установлюють відповідність матеріалів вимогам нормативних документів.

Мінімальну періодичність перевіряння та випробування складників ДАБС наведено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 — Мінімальна періодичність перевіряння та випробування складників ДАБС

Ч. ч.	Матеріал	Перевіряння/ випробування	Призначення	Періодичність
1	2	3	4	5
1	Заповнювач (щебінь та пісок)	Задекларовані властивості заповнювача	Перевіряння придатності для цільового використання	Перед першим використанням та щорічно
		Перевіряння документів про поставку	Перевіряння вантажу відповідно до замовлення та правильності джерела	Кожна поставка
		Візуальне перевіряння запасів	Перевіряння з типовим виглядом щодо джерела, зернового складу, форми зерен та сторонніх домішок	Кожен день виробництва
		Зерновий склад, вміст пилюватих та глинистих частинок	Перевіряння відповідності національним стандартам	а) Перша поставка з нового джерела
				б) У разі сумнівів за результатами візуального перевіряння
				в) Кожні 2000 т поставки
		Форма зерен (тільки для щебеню)	Перевіряння відповідності національним стандартам	а) Перша поставка з нового джерела
				б) У разі сумнівів за результатами візуального перевіряння
				в) Кожні 2000 т поставки
2	Наповнювач	Задекларовані властивості наповнювача	Перевіряння придатності для цільового використання	Перед першим використанням та щорічно
		Перевіряння документів про поставку	Перевіряння вантажу відповідно до	Кожна поставка

			замовлення та правильності джерела	
		Зерновий склад	Перевіряння відповідності національним стандартам	а) Перша поставка з нового джерела
				б) Кожні 1000 т поставки
3	Бітумне в'язуче	Задекларовані властивості бітуму	Перевіряння придатності для цільового використання	Перед першим використанням та щорічно
		Перевіряння документів про поставку	Перевіряння вантажу відповідно до замовлення та правильності джерела	Кожна поставка
		Глибина проникності голки, температура розм'якшеності, температура крихкості, еластичність	Перевіряння відповідності національним стандартам	Перед першою поставкою та один раз на кожні 300 т поставки або у разі зміни джерела поставки
4	Добавка на основі поверхнево-активних речовин	Задекларовані властивості добавки	Перевіряння придатності для цільового використання	Перед першим використанням та щорічно
		Зчеплюваність бітуму, модифікованого добавкою, з використовуваним заповнювачем (для адгезійних добавок або добавок комплексної дії)	Перевіряння відповідності вимогам 5.1.1.2 [15]	Перед першою поставкою та один раз на кожні 15 т поставки або у разі зміни джерела поставки
		Можливість зниження технологічних	Перевіряння ефективності	Перед першою поставкою та один раз на кожні 15 т

		температур виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей (для енергозберігаючих добавок або добавок комплексної дії)		поставки або у разі зміни джерела поставки
5	Стабілізуюча добавка	Вологість, термостійкість	Перевіряння на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-127 [12]	Перед першою поставкою та один раз на кожні 5 т поставки або у разі зміни джерела поставки
Примітка. Задекларовані властивості складників дозволено перевіряти за даними сертифікатів відповідності, виданими Органами сертифікації, акредитованими відповідно до чинного законодавства.				

Під час операційного контролювання виробництва ДАБС перевіряють точність та послідовність дозування заповнювачів, бітумного в'язучого, температурний та часовий режим підготування бітумного в'язучого, висушування та нагрівання мінеральних матеріалів, послідовність і тривалість перемішування, температуру готової ДАБС.

Приймально-здавальне контролювання готової ДАБС виконують для партій. За партію приймають кількість ДАБС одного виду й складу, що виробляють на одному змішувачі впродовж однієї зміни, але не більше ніж 1200 т. Якщо впродовж зміни виконано переналагодження обладнання для випуску ДАБС іншого складу чи виконано ремонт, то за партію вважають об'єм ДАБС, вироблений після кожного переналагодження.

Під час приймально-здавального контролювання з кожної партії щозміни відбирають одну об'єднану пробу. Відбирання проб виконують згідно з [16].

Під час контролювання продукції визначають склад ДАБС та залишкову пористість ДАБ. Коефіцієнт довготривалої водостійкості визначають під час підбору складу ДАБС та не рідше ніж один раз на місяць.

Кожний автомобіль, завантажений ДАБС, має бути супроводжено документом про відповідність (паспортом), у якому має бути зазначено:

- номер документа про відповідність і дату його видачі;
- назву підприємства-виробника, адресу та номер змішувача (за наявності);
- умовну позначку ДАБС з позначенням цих рекомендацій;
- масу ДАБС;
- температуру ДАБС під час відвантажування;
- дату й час відвантаження ДАБС;
- номер автомобіля;
- адресу підприємства-споживача чи об'єкта влаштування асфальтобетонного шару дорожнього одягу;
- результати підбору складу ДАБС.

Споживач має право проводити контрольне перевіряння відповідності ДАБС та ДАБ вимогам цих рекомендацій. Якщо метою перевіряння є рекламація, то відбирання проб має бути проведено в присутності виробника та представника акредитованої (атестованої) випробувальної лабораторії.

За наявності візуальних ознак присутності не вкритих бітумом зерен; зерен, що перевищують установлений для даної ДАБС розмір зерен заповнювача; згустків бітумного в'язучого та асфальтов'язучого, ДАБС вважають такою, що не пройшла приймально-здавальне контролювання та підлягає утилізуванню.

Засоби вимірювальної техніки, обладнання та допоміжні пристрої, які застосовують для контролювання якості матеріалів відповідно до розділу 5 з [15], повинні пройти перевірку, атестацію чи калібрування за установленим порядком згідно з вимогами нормативної або технічної документації.

Контролювання якості ДАБС та ДАБ здійснюють згідно з стандартами серії ДСТУ EN 12697.

Зразки із ДАБС виготовляють згідно з [18]. Температура ДАБС під час виготовлення зразків має відповідати вимогам таблиці 4.12 для випадку початку ущільнення.

Випробування ДАБС, відібраних безпосередньо з асфальтозмішувача чи асфальтоукладача на місці влаштування шару дорожнього одягу, проводять на відповідність вимогам до [15] розділу 5 щодо складу та залишкової пористості.

Для контролювання якості ущільнення ДАБС та товщини ДАБ з влаштованого шару відбирають зразки-керни діаметром не менше ніж 100 мм, не раніше ніж через 3 доби після влаштування асфальтобетонного шару. Зразки-керни відбирають на відстані близько 200 м від початку ділянки влаштованого шару та один від одного, рівномірно по ширині влаштованого шару. Для невеликих за площею ділянок (до 9000 м²), відбирають не менше ніж три зразки керни рівномірно розміщені за площею влаштованої ділянки.

У процесі випробування визначають товщину та середню густину зразків-кернів. Крім того, визначають коефіцієнт ущільнення згідно з [19] розділу 33, як відношення середньої густини зразків-кернів до середньої густини лабораторних зразків з ДАБС. Коефіцієнт ущільнення має становити не менше ніж 0,98.

Під час виробництва та використання ДАБС потрібно дотримувати вимог безпеки та охорони довкілля згідно з [10].

4.3 Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування технології влаштування покриттів із дренуючого асфальтобетону

Під час впровадження нових матеріалів та технологій прийняття рішень повинно базуватися на результатах їх техніко-економічного обґрунтування. Техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень передбачає два аспекти аналізування: технічний і економічний. У стратегії розвитку та утримування мережі автомобільних доріг України вагомою

складовою є заходи з впровадження нових або удосконалення існуючих матеріалів та технологій в цьому напрямку. Дренуючий асфальтобетон (ДАБ) можна вважати одним з таких.

Переваги ДАБ пов'язані з безпекою руху та захистом навколишнього середовища, були визнані в світі впродовж багатьох років. Призначенням ДАБ є відведення води через його пори до непроникного нижнього шару, з подальшим відведенням за рахунок поперечного похилу до узбіччя. Такий покрив було створено для підвищення безпеки на автомобільних дорогах, але крім високих зчіпних характеристик він володіє і рядом інших переваг. Висока пористість забезпечує водопроникність покриття, що зменшує кількість поверхневої води і, таким чином, зменшує утворення бризок за дощової погоди, що значно підвищує видимість як вдень, так і в нічний час, а також знижує ризик аквапланування, як підсумок — рівень безпеки доріг підвищується. Крім того, особлива текстура поверхні ДАБ сприяє зменшенню шуму, що виникає під час взаємодії шини з дорожнім покриттям [3].

Традиційні технологічні рішення для поточного ремонту нежорсткого дорожнього одягу в Україні в основному представлені у вигляді додаткового влаштування шарів зносу покриття: асфальтобетонних шарів, щебенево-мастикових шарів, шарів зносу з литих емульсійно-мінеральних сумішей [83]. Виконання таких робіт дозволяє підвищити транспортно-експлуатаційні характеристики дороги. Оскільки ДАБ також влаштовують як шар зносу і найбільш близьким за технологією вироблення, застосування та влаштування він є до щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЩМА), то доцільно розглядати економічну доцільність в певній мірі порівнюючи його саме з таким видом асфальтобетонних покриттів.

Дослідження, які описані в роботі [44] показали, що під час застосування технології влаштування шару зносу з пористих асфальтобетонів, які в цьому плані можна прирівняти до дренуючих,

завдяки ряду переваг, які прямо впливають на безпеку руху, ефективність зниження ДТП становить близько 30 % та має значний річний економічний ефект. Проте, в першу чергу, важливо порівняти та оцінити економічний ефект на стадії вироблення та укладання асфальтобетонної суміші.

Для подальшого вдосконалення інструкцій щодо вироблення та застосування ДАБ для вирішення регіональних, дорожніх і кліматичних проблем, необхідний комплексний аналіз доступних на даний момент застосувань дренуючих асфальтобетонних сумішей (ДАБС) для будівництва та утримування дорожніх покриттів. Актуальним питанням є проведення техніко-економічного порівняння. Тобто, за мету поставлено оцінювання економічної доцільності технології влаштування покриттів з ДАБ в порівнянні з альтернативними технологіями ремонту асфальтобетонного покриття.

Технологія використання ДАБ передбачає ряд переваг. Конкретні переваги та ступінь переваг залежать від того, яку саме технологію використовують і з якою порівнюють. Однак, згідно з оглядом літературних джерел, переваги можна розділити на три групи:

- екологічні;
- технологічні;
- економічні.

До екологічних переваг можна віднести зниження температури вироблення і укладання ДАБС порівняно з ЩМАС. Також ДАБ сприяє кращому збереженню природного водного балансу і запобігає забрудненню поверхневих вод. Він допомагає збільшити проникнення дощової води в ґрунт, знижуючи ризик ерозії і забезпечуючи відновлення ґрунтових водних ресурсів.

Якщо розглянути технологічні переваги, то це ущільнення ДАБС. Для цього потрібно в 2 рази менше проходів легких котків масою до 10 тонн, порівняно з щебенево-мастиковими асфальтобетонними сумішами (легких і

середніх котків). Це означає, що процес ущільнення ДАБС може бути швидшим та ефективнішим. Але виникає потреба в улаштуванні гідроізоляції під шаром ДАБ та в зменшенні часу транспортування ДАБС.

Економічні переваги – це звісно витрати пов'язані з ціною матеріалів, вартістю вироблення суміші та вартістю влаштування шару.

Оскільки найбільш близьким за технологією вироблення, застосування та влаштування в умовах України ДАБ є до ЩМА, то доцільно розглядати техніко-економічну доцільність в певній мірі порівнюючи його саме з таким видом асфальтобетонних покриттів, як ЩМА, розглянувши певні деталі, які будуть відрізнятися в процесі порівняння.

Визначення ефективності технології здійснено порівнянням приведених витрат на вироблення 100 т асфальтобетонної суміші на асфальтобетонному заводі та на улаштування шару дорожнього одягу товщиною 5 см із асфальтобетонної суміші асфальтоукладачем з розрахунку на 1000 м² дорожнього покриття. В якості критерію порівняльної ефективності на вироблення суміші варто розглянути один з основних ресурсів, як витрати паливних матеріалів на вироблення на асфальтобетонному заводі 1 т суміші та вміст сировини та матеріалів, задля руйнування гіпотези про значне зростання витрат за рахунок більш жорстких вимог до матеріалів і технології ДАБ.

Витрати тепла на нагрівання 1 т мінеральних матеріалів (піску і щебеню) від початкової до робочої температури Q_1 , МДж/т, визначають за формулою:

$$Q_1 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8, \quad (4.1)$$

де q_1 – витрати тепла на нагрівання мінеральних матеріалів до температури інтенсивного випаровування вологи, Мдж/т;

q_2 – витрати тепла на нагрівання вологи, яку містять мінеральні матеріали, до температури випаровування, Мдж/т;

q_3 – витрати тепла на випаровування вологи за постійної температури, МДж/т;

q_4 – витрати тепла на нагрівання пари води до температури газів;

q_5 – витрати тепла на нагрівання висушеного матеріалу до кінцевої температури, МДж/т;

q_6 – витрати тепла від стінок сушильного барабана в навколишнє середовище, МДж/т;

q_7 – витрати тепла внаслідок відведення газів, МДж/т, (з урахуванням втрат від механічної і хімічної неповноти згорання); можуть бути прийняті в кількості від 15 % до 20 % від суми витрат ($q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5$) або точніше розраховані;

q_8 – витрати тепла на нагрівання сушильного барабана на початку роботи з розрахунку на 1 т мінерального матеріалу, МДж/т.

Витрати тепла для нагрівання рідкого палива (мазуту) перед спалюванням його у форсунках з розрахунку на 1 т асфальтозмішувальної установки Q_2 , МДж/т, визначають за формулою:

$$Q_2 = \frac{\eta(t_{кт} - t_{нт})C_T \cdot P_T}{P_a}, \quad (4.2)$$

де η – коефіцієнт, що враховує втрати тепла, η від 1,1 до 1,15;

C_T – питома теплоємність палива, $C_T \approx 2,1$ МДж/(т °С);

$t_{нт}, t_{кт}$ – початкова і кінцева температура палива, °С;

P_T – сумарна годинна витрата палива в устаткуванні, де потрібне попереднє підігрівання палива, т/год;

P_a – продуктивність асфальтозмішувальної установки, т/год.

Витрати умовного палива з розрахунком на 1 т асфальтобетонної суміші A , кг, визначають за формулою:

$$A = (B + Q_1 \cdot P + Q_2), \quad (4.3)$$

де B, P – відповідно кількість бітуму і мінеральних матеріалів в асфальтобетонній суміші, %;

2900 – коефіцієнт переведення теплової здатності палива з МДж/т в кг.

Для перерахунку витрат палива на роботу асфальтозмішувальних установок з умовного палива в конкретний вид палива (B_{Π}) потрібно витрату умовного палива (A) поділити на коефіцієнт переводу в умовне паливо окремих видів палива за формулою:

$$B_{\Pi} = \frac{A}{k}, \quad (4.4)$$

де k – коефіцієнт переводу в умовне паливо деяких видів палива. (таблиця 4.14)

Таблиця 4.14 – Коефіцієнти переводу в умовне паливо деяких видів палива

Назва виду палива	Коефіцієнт k
Мазут топковий	1,37
Мазут флотський	1,43
Моторне паливо	1,43
Дизельне пальне	1,45
Пічне паливо побутове	1,45
Бензин автомобільний	1,49
Бензин авіаційний	1,49
Природний газ	1,16
Зріджений газ	1,57

Розраховування норм витрат палива на вироблення 1 т асфальтобетонної суміші з урахуванням всіх коефіцієнтів та даних

визначали за методом відповідно до СОУ 42.1-37641918-123:2014 «Норми витрат палива на роботу асфальтозмішувальних установок» [21].

Вартість прямих витрат та об'ємів визначали на основі ресурсних кошторисних норм «Галузеві розрахунки витрат ресурсів на ремонтно-будівельні роботи на автомобільних дорогах загального користування» [22], «Галузеві розрахунки витрат ресурсів на експлуатацію дорожніх машин і механізмів» [106], СОУ 42.1-37641918-034:2018 «Дорожні машини та механізми. Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин і механізмів» [84], СОУ 42.1-37641918-035:2018 «Автомобільні дороги. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи» [107]. На відповідні роботи було прийнято норми для ЩМА та порівняльним методом певних ресурсів доведено економічну ефективність ДАБ.

Витрати матеріалу на улаштування шару дорожнього одягу товщиною 5 см із щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші асфальтоукладачем з розрахунку на 1000 м² були прийняті згідно з «Галузеві розрахунки витрат ресурсів на ремонтно-будівельні роботи на автомобільних дорогах загального користування» [22].

Витрату матеріалу m для влаштування шару ДАБ було розраховано залежно від об'ємної густини відповідно до лабораторних результатів випробування та об'єму влаштування за формулою:

$$m = \rho \cdot V, \quad (4.5)$$

де ρ – об'ємна густина асфальтобетону, г/см³;

V – об'єм, потрібний для влаштування шару дорожнього покриття, м³.

Для визначення об'ємної густини ДАБ було виконано експериментальні дослідження з підбирання складу та виконано визначення геометричним способом.

Вартість ЩМА та його складників, а також палива, було прийнято згідно зведених даних цін ДП «ДерждорНДІ» на дорожньо-будівельні

матеріали згідно даних служб відновлення та розвитку інфраструктури України в областях на червень 2023 року. Вартість асфальтобетонних сумішей було розраховано згідно калькулятора вартості, розміщеному на сайті ДП «ДерждорНДІ».

На відміну від щебенево-мастикового асфальтобетону в ДАБ пори не заповнюють бітумно-піщаним розчином. Головною особливістю є його пористість та висока зсувостійкість, що досягається за рахунок міцності щебеневого каркаса і високої в'язкості бітумного в'язучого, який склеює зерна. Переваги ДАБС, пов'язані з безпекою та навколишнім середовищем, були визнані в світі впродовж багатьох років.

Існують певні застереження щодо впровадження технології виробництва ДАБ через її вартість. Вироблення асфальтобетонної суміші передбачає наступні технологічні операції: переміщення матеріалів бульдозером; завантаження матеріалів в установку; розігрівання бітуму в бітумосховищі; випарювання води з бітуму; нагрівання зневодненого бітуму до робочої температури; перекачування бітуму; очищення бітумних котлів; вироблення суміші: обслуговування газодувної установки та контролювання температури просушування матеріалів; контролювання роботи конвеєрів і дозаторів; видача виробленої суміші в транспортні засоби [108].

Потрібно довести ефективність ДАБ порівняно з ЩМА, щоб використання цієї технології набуло широкого розповсюдження.

Розрахунок вартості вироблення 100 т суміші включає такі статті калькулювання: сировина та матеріали, паливо та енергія на технологічні цілі, основна заробітна плата, робітники зайняті для ремонту та технічного обслуговування машин та механізмів, витрати на утримування та експлуатування устаткування та інші виробничі витрати.

Оскільки ДАБ ще не використовують в Україні, і він знаходиться на етапі впровадження, але дуже близький за виробленням до ЩМА, то

доцільно розглянути певні ресурси, які можуть відрізнятися і впливати на зміну вартості. Тобто, це сировина та матеріали та, звісно, паливо.

Доцільно встановити на скільки відсотків скорочення споживання енергії та палива зменшить загальні витрати на вироблення і, тим самим, на етапі вироблення не збільшить вартість ДАБС. Якщо розглянути формулу (4.3), то може здаватися, що за рахунок більшого вмісту мінерального матеріалу в ДАБС (до 93 %), який піддається нагріванню, в порівнянні з ЩМАС (до 83 %), буде зростати витрата палива і в подальшому ціна. Але за рахунок того, що ДАБС містить в собі крупний однофракційний щебінь, то питома поверхня щебеню менша, внаслідок чого щебеневий матеріал нагрівається швидше і має меншу теплоємність.

Температура нагрівання складників та температура ДАБС в середньому нижче на 20 °С, ніж в ЩМАС, прийнявши, що дві технології в даний час виробляються на модифікованому бітумі. Тому, за рахунок цього, зменшиться витрата тепла і в подальшому палива для нагрівання та вироблення ДАБС (таблиця 4.15), а вартість приготування ДАБ майже не зростатиме в порівнянні з ЩМА, що дасть змогу віддавати перевагу ДАБ в певних, найбільш раціонально доцільних, кліматичних районах України в залежності від кількості зливових опадів та клімату, які розроблені та рекомендовані в [3] та розділі 2 п.2.3 даної роботи.

Для розрахунку норм витрат палива з вироблення 1 т асфальтобетонної суміші з урахуванням всіх коефіцієнтів та даних визначали за методом відповідно [21]. Складові витрати тепла, які потрібні для розрахунку загальної витрати тепла на нагрівання 1 т мінеральних матеріалів (піску і щебеню) від початкової до робочої температури Q_1 пораховані і наведені в таблиці 4.15. Далі було визначено загальні витрати тепла на Q_1 , витрати тепла для нагрівання рідкого палива (мазуту) перед спалюванням його у форсунках з розрахунку на 1 т асфальтозмішувальної установки Q_2 та пораховано витрати умовного палива з розрахунком на 1 т асфальтобетонної суміші А, в залежності від вмісту щебеневих матеріалів

та оптимального вмісту бітуму у суміші (таблиця 4.16). Середня вартість дизельного палива згідно зведених даних цін ДП «ДерждорНДІ» на червень місяць становить 49869,16 грн/т.

Таблиця 4.15 – Складові витрати тепла, які входять до Q_1 на нагрівання 1 т мінеральних матеріалів (піску і щебеню) від початкової до робочої температури, МДж/т

Позначення матеріалу	Складові витрати тепла на нагрівання 1 т мінеральних матеріалів, МДж/т							
	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8
ЩМА	71,100	11,313	67,710	5,760	71,100	7,331	40,200	3,860
ДАБ	69,57	11,313	67,710	5,760	54,110	7,331	40,200	3,860

Таблиця 4.16 – Витрати та вартість палива з розрахунком на приготування 1 т асфальтобетонної суміші в асфальтозмішувальній установці

Позначення матеріалу	Q_1	Q_2	А, умовне паливо	$B_{п}$, конкретний вид палива	Вартість витрат палива на 1 т
ЩМА	271,374 МДж/т	0,168 МДж/т	8,02 кг/т	5,53 кг/т	275,78 грн.
ДАБ	259,854 МДж/т	0,168 МДж/т	8,06 кг/т	5,56 кг/т	277,27 грн.

Відповідно до зведених даних цін на дорожньо-будівельні матеріали згідно даних служб відновлення та розвитку інфраструктури України в областях на червень 2023 року та з використанням калькулятора розрахунку вартості вироблення асфальтобетонної суміші ДП «ДерждорНДІ», було розраховано витрати на матеріали для вироблення 100 т ЩМАС та ДАБС. Зерновий склад ЩМАС-15 на БМПП 50/70-65 було прийнято згідно наявних та використовуваних раніше лабораторних підборів. Для ДАБС-11 на БМПП 40/60-68 було виконано підбір зернового складу [2] та розділі 3 даної роботи.

Таблиця 4.17 – Вартість матеріалів для вироблення 100 т ЩМАС

Позначення матеріалу	Од. вимі ру	К-сть од. виміру	Ціна за од., грн	Сума, грн
Крупний заповнювач (щебінь) фракції понад 10 мм до 15 мм включно	кг	46816	0,37	17321,92
Крупний заповнювач (щебінь) фракції понад 5 мм до 10 мм включно	кг	18727	0,36	6741,72
Дрібний заповнювач (пісок) фракції понад 0 мм до 5 мм включно	кг	14045	0,35	4915,75
Мінеральний порошок	кг	14045	1,92	26966,40
Дорожній бітум, модифікований полімером (БМПП)	кг	6086	35,83	218061,38
Стабілізувальна добавка	кг	281	26,67	7494,2
Разом	грн			281 501,44

Таблиця 4.18 – Вартість матеріалів для вироблення 100 т ДАБС

Позначення матеріалу	Од. вимі ру	К-сть од. виміру	Ціна за од., грн	Сума, грн
Крупний заповнювач (щебінь) фракції понад 8 мм до 11 мм включно	кг	86466	0,37	31992,42
Дрібний заповнювач (пісок) фракції понад 0 мм до 2 мм включно	кг	3759,5	0,35	1315,83
Мінеральний порошок	кг	3759,5	1,92	7218,24
Дорожній бітум, модифікований полімером (БМПП)	кг	5639	35,83	202045,37
Стабілізувальна добавка	кг	376	26,67	10027,92
Разом	грн			252 599,78

Під час калькулювання вартості витрат матеріалу на улаштування шару дорожнього одягу товщиною 5 см із ЩМАС асфальтоукладачем з розрахунку на 1000 м² витрата матеріалу згідно з [22] становить 125,1 т. Для ДАБС витрату матеріалу було визначено згідно виконаних експериментальних досліджень з підбору складу та визначеної об'ємної густини. Об'ємна густина для ДАБ-11 з вмістом бітуму 6,0% становить 1,91 г/см³. Тобто, витрати матеріалу на улаштування шару дорожнього одягу товщиною 5 см із ДАБС асфальтоукладачем з розрахунку на 1000 м²

становитимуть 95,5 т. Враховуючи те, що вартість витрат палива для вироблення суміші майже не змінюється (таблиця 4.16), а вартість матеріалів для вироблення суміші у випадку з ДАБ зменшується приблизно на 11 % (таблиці 4.17, 4.18), то загальна вартість вироблення 100 т суміші на асфальтобетонному заводі продуктивністю 160 т/год за розрахунками, враховуючи ПДВ, зменшується на 6 %, і становить: для ЩМАС-15 – **5921,71 грн/т**; для ДАБС-11 – **5574,90 грн/т**.

Тобто, можна підрахувати, що вартість матеріалу на улаштування дорожнього одягу товщиною 5 см з розрахунку на 1000 м² становить:

- для ЩМА-15 – **740805,92 грн.;**
- для ДАБ-11 – **532402,95 грн.**

На основі розрахованих даних для ЩМАС та ДАБ побудовано порівняльне графічне зображення витрат на матеріали, загальних витрат на вироблення 100 т суміші та вартість матеріалу, потрібного для влаштування 1000 м² шару дорожнього покриття товщиною 5 см (рисунок 4.2).

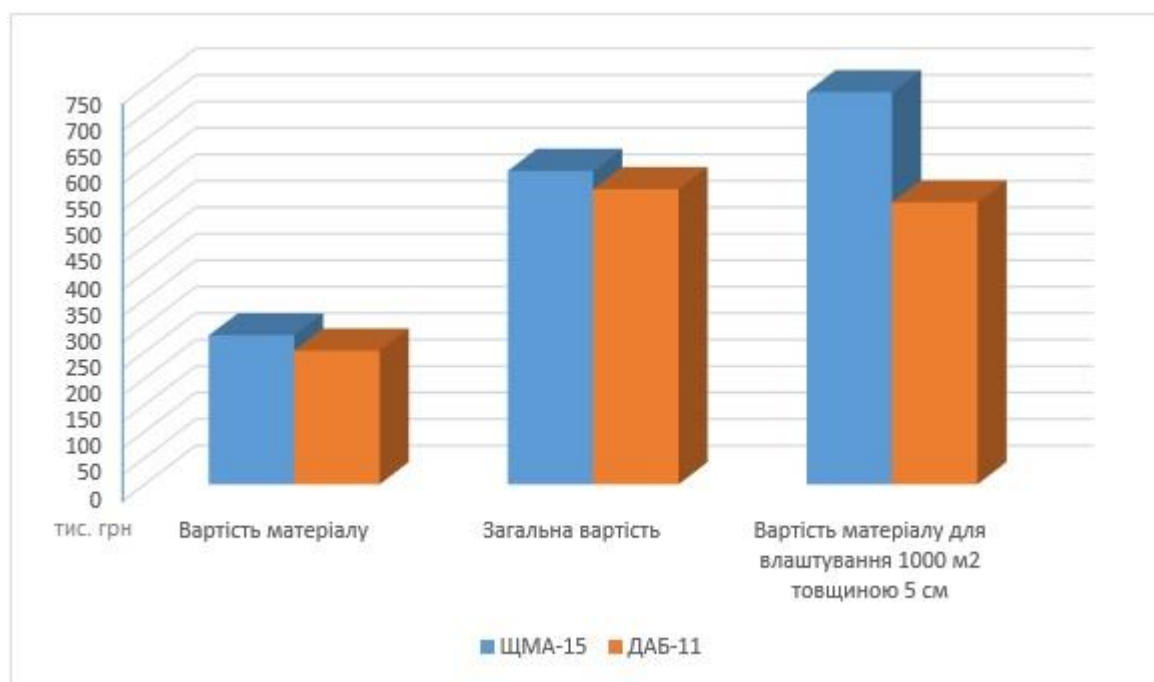


Рисунок 4.2 – Графічне порівняння вартості витрат на матеріали для вироблення та влаштування дорожнього покриття з певного матеріалу

Графік на рис. 4.2 показує, що під час порівняння лише вартостей самого матеріалу для вироблення суміші та в подальшому загальну вартість 100 т суміші, за рахунок вмісту крупного однофракційного щебеню і меншого вмісту наповнювача, нижчих температур нагрівання складників, ДАБ вже є в незначній мірі економічно вигідним.

Якщо розглянути вартість обсягу суміші, потрібної для влаштування шару дорожнього покриття товщиною 5 см, навіть не враховуючи того, що ДАБС потребує щонайменше в 2 рази менше проходів гладковальцевих котків масою до 10 т, то ДАБ в порівнянні з ЩМА є досить вагомо економічно вигідним (до 30 %), виходячи спочатку з невеликої економії на виробленні суміші, а далі за рахунок високої пористості матеріалу.

Варто зазначити, враховуючи переваги ДАБ, такі як зменшення аквапланування, збільшення зчеплення, зменшення водяного пилу і збільшення видимості в дощову погоду, колієстійкість, такі покриття тим самим підвищують безпеку дорожнього руху, що також є досить впливово важливим в економічному плані.

Навіть, використовуючи менш ефективний в плані відводу води пористий асфальтобетон, як шар покриття, який також має вплив на явище аквапланування, доведено, що ефективність зниження ДТП на певній досліджуваній ділянці автодороги Львів-Тернопіль, км 60+500 – км 65+000, довжиною 2,2 км становить близько 30 % і має річний економічний ефект близько 500 000 грн на 2018 - 2019 роки [44]. Для прикладу, сумарні соціально-економічні втрати від дорожньо-транспортних пригод, що стались у 2018 році складали 44,3 млрд грн, що складає 1,25 % від валового внутрішнього продукту у фактичних цінах за 2018 рік або 1,9 млн грн на одного потерпілого [45].

В Україні масштаби травматизму та смертності внаслідок ДТП випереджають аналогічні показники європейських країн і це є досить досліджуваним питанням. Кількість загиблих на 100 ДТП у нашій країні складає 15-17 одиниць, що в 3-8 разів перевищує аналогічний показник

країн Європи. Значний відсоток всіх ДТП 45-55 % виникає на слизьких та мокрих покриттях автомобільних доріг. Відповідно до статистичних даних відносна аварійність на вологому покритті в осінньо-весняний період – в 2,2-2,5 рази вища ніж на сухому – в літній період [44]. За різними статистичними методами підрахунку, які є у вільному доступі, життя 1 людини коштує від 79 тис. дол. до 400 тис. дол. Згідно [35] використання дренажних асфальтобетонів значно покращує коефіцієнт тертя (на швидкості 64 км/год на 20 %; 90 км/год на 30 %) та знижує градієнт тертя (з 0,8 до 0,1) порівняно з щільними асфальтобетонами. Це сприяло зменшенню кількості ДТП. За рік до улаштування пористого шару покриття на Highway 23 39 % (7 із 18) аварій сталися під час вологої погоди. Протягом року після встановлення лише 17 % (2 з 12) аварій сталися у вологу погоду, що вважається нормальним явищем. Франція також повідомила про значне зменшення аварій у вологу погоду. На автомагістралі А7 між Валансом і Ліоном було зареєстровано 52 аварії. Після улаштування жодної аварії на цій ділянці не сталося протягом 4 років. Згідно [114] на 3 автомобільних дорогах US-71, I-20 та US-171 в таблиці 5 показано зменшення ДТП та фатальних випадків після влаштування дренажного асфальтобетону через 5 років експлуатації. Загальна кількість ДТП на мокрому покритті зменшилась на 100, 76, 57 відсотків відповідно. Зменшення летальних випадків на мокрому покритті становило 100 %.

Якщо розглядати порівняння саме з ЩМА, то згідно загальноєвропейських даних коефіцієнт тертя, як на новому покритті, так і після року експлуатації, має кращі показники на 15-20 %. Є багато інших джерел які підтверджують зменшення кількості ДТП після влаштування пористого асфальтобетону, а тим самим ДТП з летальними наслідками. Тобто, в середньому ціна життя однієї людини 6,5 млн. грн, а за європейським методом розрахунку 15 млн. грн., а із загальної кількості смертельних ДТП на мокрих дорогах виникає 2000, то якщо завдяки

дренуючим покриттям вдасться знизити цей показник хоча б на 10 %, то я вважаю його потрібно обов'язково використовувати на дорогах України.

Тому, використання ДАБ в певних кліматичних районах України може стати досить економічно вигідною технологією з значним покращенням безпеки на автомобільних дорогах із зменшенням кількості ДТП і тяжкістю їх наслідків, тим самим забезпечується розрахункова швидкість руху транспортних засобів, економічність та комфортність перевезень.

Звісно, треба зазначити, що ДАБ потребує улаштування гідроізоляції, спеціальних заходів по періодичному очищенню пор від пилу, піску та бруду, методом промивання під тиском, або спеціальними машинами для очищення, водовідведення та для догляду зимою використання сольових (хімічних) розчинів. Можлива також практика додавання в асфальтобетонну суміш антиожеледних добавок, але звісно, після деяких досліджень.

Через деякі недоліки термін служби пористого асфальтобетонного покриття менший, ніж шару з щільного. Але це залежить від кількох факторів, таких як вміст і тип в'язучого, крупність заповнювача, інтенсивність руху та клімату. Хоча попередній досвід показує оптимістичну очікувану тривалість життя близько 12-15 років, згідно з результатами в багатьох країнах, певне технічне обслуговування повинно знадобитися протягом приблизно 5-8 років. Такі витрати на обслуговування пористого асфальту (від очищення забитих пір до заміни тих шарів, які втратили свою дренажну функцію) вважаються вищими, ніж для звичайного асфальту. Однак це не означає, що економічна ефективність пористого асфальтобетону нижча, ніж у інших типів. Не можна ігнорувати значний внесок даного асфальтобетону в соціальні переваги, такі як безпека руху та екологічні проблеми [115]. На рисунку 4.3 видно, що після 6 років експлуатації в Німеччині видимих дефектів не виявлено. В локальних місцях присутні викришування (рисунок 4.4), в основному в крайній полосі для

вантажного транспорту. Заміна шару зносу здійснена через 10 років експлуатації. В висновку, можна стверджувати, що міжремонтні строки порівняно з ЩМА не зменшуються; життєвий цикл шару зносу з дренуючого асфальтобетону на 1-2 роки менший, ніж у щільних сумішей. Але після втрати своїх властивостей, ДАБ може виконувати функцію звичайних щільних асфальтобетонів на протязі декількох років.



Рисунок 4.3 – Шар зносу пористого асфальтобетону на автомобільному шляху А9 до та після 6 років експлуатації



Рисунок 4.4 – Локальне викришування в двох крайніх полосах руху для вантажного транспорту на автомобільному шляху А9 до та після 6 років експлуатації

Все це можна пояснити тим фактом, що дренуючі асфальтобетони доцільно використовувати на швидкісних, особливо на платних, автомагістралях, бажано у регіонах з найкоротшим періодом негативних температур повітря, або як альтернатива, на автостоянках, проспектах, де швидкість руху більше 50 км/год.

Але, завдяки визначеним вагомим економічним факторам таких як матеріали (зерновий склад), вартість суміші, витрата матеріалу для влаштування, вигодою зменшення соціально-економічних витрат від дорожньо-транспортних пригод та у висновку зменшення смертельних випадків від ДТП, то під час впровадження технології ДАБ в Україні, з'являється можливість покривати витрати пов'язані з потребою спеціального зимового утримування і заходів з очищення пор, які можуть засмітитися за роки експлуатування.

Висновки до розділу 4

1. Визначено та обгрунтовано основні практичні особливості проєктування та виготовлення дренажного асфальтобетону. Встановлено основні умови влаштування шару дренажного асфальтобетону.

2. Відповідно до розробленого районування за кліматичними умовами роботи дренажного асфальтобетону встановлено вимоги до бітуму для забезпечення колієстійкості по зонах та розроблено приклади конструкцій дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг. Оскільки шар дренажного асфальтобетону влаштовують як шар зносу, то для нього не встановлюють розрахункові характеристики.

3. Проаналізувавши інформацію, нормативно-технічну базу європейських країн, властивості та принципи було розроблено рекомендації з виробництва дренажних асфальтобетонних сумішей та влаштування з них покриття. У цих рекомендаціях подано класифікацію за найбільшим максимальним номінальним розміром зерен заповнювача, технічні вимоги до матеріалів, складу, властивостей, виробництва тощо.

3. Встановлено, що під час порівняння лише вартостей самого матеріалу для вироблення суміші та в подальшому загальну вартість 100 т суміші ДАБ вже є в незначній мірі економічно вигідним за рахунок

особливостей зернового складу. Вартість обсягу суміші, потрібної для влаштування шару дорожнього покриття товщиною 5 см із ДАБ, в порівнянні з ЩМА є досить вагомо економічно вигідним (до 30 %), виходячи як з певної економії на виробленні суміші, так і внаслідок високої пористості матеріалу.

4. Завдяки багатьом перевагам, які спрямовані на покращення безпеки дорожнього руху, ДАБ буде впливати на зниження ДТП та зменшення смертельних випадків внаслідок ДТП, тим самим приносячи чималий економічний ефект в частині сумарних соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод та збереженню життя людини. Міжремонтні строки ДАБ в порівнянні з ЩМА не зменшуються. Строк служби, в порівнянні з щільними асфальтобетонами зменшується на 1-2 роки, але перевагою є те, що далі ДАБ може виконувати функції щільних покриттів ще декілька років.

5. Завдяки визначеним вагомим економічним факторам під час впровадження технології ДАБ в Україні з'являється можливість покривати витрати пов'язані з потребою спеціального зимового утримування і заходів з очищення пор, які можуть засмітитися за роки експлуатування.

Результати досліджень третього розділу викладено у наступних публікаціях: [3, 4, 5, 82].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, що полягає в підвищенні рівня безпеки та експлуатаційних характеристик автомобільних доріг України за рахунок удосконалення технології влаштування покриття з використанням дренажних асфальтобетонів. Отримані нові наукові результати, які дозволяють встановлювати чіткі параметри технологічного процесу виробництва та особливостей проєктування асфальтобетонних сумішей для подальшого впровадження та влаштування дорожнього покриття із дренажного асфальтобетону при забезпеченні отримання більш економічних рішень при виконанні робіт з влаштування шару зносу в порівнянні з найбільш подібними технологіями.

1. Проаналізовано теоретичні дослідження процесу формування асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор. Визначено особливість проєктування дренажних асфальтобетонів (біля 90 % становить однофракційний щебінь). Встановлено етапи проєктування складу суміші та визначено вимоги до мінеральних заповнювачів. Проаналізовано оптимальні параметри виробництва: основною модифікацією є додавання стабілізуючої добавки (від 0,3 % до 0,6 %) та використання модифікованих в'язучих для підвищення довговічності. ДАБС потрібно укладати лише на непроникному покритті, якщо тільки покриття не буде спеціально розроблене для проникнення. Дренажні асфальтобетонні суміші треба влаштовувати в якості шару зносу із забезпеченням вільного стоку води з шару на узбіччя. Шар з дренажної асфальтобетонної суміші не є конструктивним. В результаті визначенно основні переваги та недоліки та проаналізовано основні принципи проєктування конструкції з використанням ДАБ.

2. Визначено узагальнені теоретичні передумови найбільш вагомих параметрів, які впливають на впровадження та проєктування дренажних асфальтобетонів. Встановлено, що головним метеорологічним чинником, що визначає стан доріг не тільки в осінньо-зимово-весняний, але й у літній періоди, є опади, їхня інтенсивність, тривалість і повторюваність, розподіл

по місяцях, клімат на території держави. На основі цих даних та аналізу кліматичного режиму України визначено, що товщину шару з дренуючого асфальтобетону треба призначати з урахуванням кількості опадів в районі будівництва, поперечного та повздовжнього похилу основи, а також дренуючих властивостей. Оскільки однією з основних задач ДАБ є відведення води з покриття, то саме на основі даних щодо максимальної кількості зливових опадів впродовж року і було розроблено метод розрахунку необхідної товщини таких асфальтобетонів. Розроблено необхідне для розрахунку районування умов роботи дренуючого асфальтобетону на території України. Враховуючи розроблене районування за максимальною інтенсивністю зливових опадів та за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону, на практиці це дасть змогу: виконувати вибір виду дренуючого асфальтобетону та розрахувати його необхідну товщину; розробити конструкції дорожнього одягу; визначити відповідно для кожного району рекомендовані марки бітуму та забезпечити достатню колієстійкість асфальту відповідно до обраного району для різних категорій автомобільних доріг; визначити раціональні області застосування.

3. Для отримання раціонального складу суміші, відповідних параметрів виробництва було проведено випробування всіх складових матеріалів для досягнення необхідних вимог перед початком експериментів. Визначено раціональний склад сумішей методом граничних кривих (Щ – 92 %; П – 4 %; Н – 4 %; СД – 0,3 – 0,5 %). Відповідно до об'ємних підходів основною вимогою є забезпечення потрібного вмісту пустот в ущільнених зразках. Як наслідок, було вироблено асфальтобетонні суміші з максимальним розміром зерен 16 мм, 11 мм та 8 мм та вмістом бітуму від 5,5 % до 7,5 %. Визначено основні об'ємні та додаткові механічні показники та графічно зображено залежність показників від вмісту бітуму. Експериментальними дослідженнями підбору складу встановлено, що його потрібно виконувати таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, для видалення води з поверхні дороги. Було досягнуто необхідного вмісту пор при встановлених мінімальних та

максимальних кількостях бітумного в'язучого (від 19,6 % до 26,8 %) та встановленого процесу ущільнення зразків (50 ударів з обох сторін).

Визначено показник структури дренуючого асфальтобетону – заповнення пор мінерального остова бітумом, який можна використовувати як умови підбору складу суміші або як параметри для оцінки суміші після укладання та ущільнення. Для зразка ДАБ-16 відсоток пор, заповнених в'язучим становить 28 %, для ДАБ-11 – 34 %, для ДАБ-8 – 39 % (при мінімальному вмісту бітумного в'язучого). Тобто, можна зробити висновок, що відсоток вільних для проходження води пор у зразку ДАБ-16 становить 72 %, у ДАБ-11 – 66 %, а у ДАБ-8 – 61 %. Це свідчить про досягнення достатнього забезпечення дренувальної здатності дренуючого асфальтобетону і тим самим довговічності його роботи. Для перевірки дренуючої здатності визначено показник вертикальної ($4,4 \cdot 10^{-3}$ м/с) та горизонтальної проникності ($2,9 \cdot 10^{-3}$ м/с). В кінцевому результаті було встановлено мінімальне значення коефієнта проникності для запроєктованого складу. Встановленої величини такої проникності більше чим достатньо, щоб відвести воду в найбільш насичений місяць по значенню максимальної кількості зливових опадів.

4. На підставі результатів експериментальних досліджень було встановлено раціональні параметри проектування, виробництва та умов влаштування дренуючого асфальтобетону та рекомендовано оптимальні дренуючі асфальтобетонні суміші для використання в умовах клімату України. На основі результатів проведеної науково-дослідної роботи розроблено офіційні рекомендації, які містять класифікацію, технічні вимоги до матеріалів, складу ДАБС, властивостей ДАБ та ДАБС; рекомендовані параметри з виробництва, влаштування та ущільнення дренуючих асфальтобетонних сумішей; правила приймання та методи контролювання, які отримали впровадження в Державному агентстві відновлення та розвитку інфраструктури.

5. На підставі техніко-економічного обґрунтування підтверджена доцільність застосування технології влаштування покривів із дренуючого асфальтобетону в порівнянні з найбільш наближеною технологією –

щебеневом-мастиковим асфальтобетоном. Завдяки визначеним вагомим економічним факторам таких як матеріали (зерновий склад), вартість суміші, витрата матеріалу для влаштування (до 30 %), покращення коефіцієнту зчеплення (більше 20 %) та градієнту тертя, вигодою зменшення кількості ДТП на локальних ділянках (до 100 %) та їх смертельних наслідків (до 100 %), а у висновку зменшення соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортних пригод, під час впровадження технології ДАБ в Україні, з'являється можливість покривати витрати пов'язані з потребою спеціального зимового утримування і заходів з очищення пор, які можуть засмітитися за роки експлуатування.

Матеріали досліджень були впроваджені в Державному агентстві відновлення та розвитку інфраструктури України при розробленні нормативних галузевих документів: Р В.2.7-37641918-919:2021 «Рекомендації щодо виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону», ДСТУ EN 12697-19:2021 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 19. Проникність зразка (EN 12697-19:2020, IDT)», ДСТУ EN 12697-40:2021 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 40. Дренажність влаштованого покриття (EN 12697-40:2020, IDT)» 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».

Також наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційного дослідження отримали практичне використання, наприклад під час проектування складу дренуючого асфальтобетону в ТОВ «Будівельне підприємство» «Інфраструктурні інвестиції», що підтверджено відповідними довідками із відповідних організацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Желтобрюх Антон, Копинець Іван, Соколов Олексій. Особливості проектування та використання дренажного асфальтобетону // Дороги і мости. – 2020. – Вип. 21. – С. 168-176. DOI: [10.36100/dorogimosti2020.21.168](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168)
2. Іван Копинець, Антон Желтобрюх. Результати експериментів із підбору складу дренажного асфальтобетону. Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 25. С. 40–47. DOI: [10.36100/dorogimosti2022.25.040](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.040)
3. Желтобрюх А.Д., Савенко В.Я. Метод розрахунку необхідної товщини покриття із дренажного асфальтобетону Вісник Національного транспортного університету. Випуск 55. 2023. С. 115 – 123. DOI: [10.33744/2308-6645-2023-1-55-115-123](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-115-123)
4. Усиченко О.Ю., Желтобрюх А.Д. Встановлення технічних вимог щодо дренажного асфальтобетону. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2023. Вип. 113.1. С. 83-98. DOI: [10.33744/0365-8171-2023-113.1-083-097](https://doi.org/10.33744/0365-8171-2023-113.1-083-097)
5. A.D. Zheltobriukh, V.Y. Savenko. (2023) Technical and economic justification of the feasibility of using the technology of laying covers from draining asphalt concrete. World Science. 3(81). doi:10.31435/rsglobal_ws/30092023/8052.
6. Антон Желтобрюх, Павло Малій, Тетяна Одегова, Олександр Тимошук. Використання асфальтобетонних сумішей на основі спіненого бітуму // Дороги і мости. – 2019. – Вип. 19-20. – С. 94-106. DOI: [10.36100/dorogimosti2019.19.094](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.094)
7. ДСТУ 9187:2022 Додатки на основі поверхнево-активних речовин для дорожніх бітумів. Технічні умови. Київ, 2021. 13 с.
8. ДСТУ 9133:2021 Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані комплексами добавок. Технічні умови. Київ, 2022. 22 с.

9. ДСТУ 9116:2021 Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови. Київ, 2021. 15 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2012. 59 с.
11. ДСТУ Б EN 13043:2013 Заповнювачі для бітумомінеральних сумішей і поверхневих обробок доріг, аеродромних покриттів та стоянок для автомобільного транспорту (EN 13043:2002, IDT). Київ, 2019. 46 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови. Київ, 2015. 29 с.
13. Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Дослідження можливості використання дробильних матеріалів виробництва ВАТ «Нікопольський завод феросплавів» під час будівництва доріг. *Автошляховик України*. № 4. 2020. DOI: [10.33868/0365-8392-2020-4-264-52-58](https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-4-264-52-58)
14. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва. Київ, 2016. 49 с.
15. Р В.2.7-37641918-919:2021 Рекомендації щодо виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону. Київ. 2021. 16 с.
16. ДСТУ EN 12697-27:2018 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 27. Відбирання проб (EN 12697-27:2017, IDT). Київ. 2018. 17 с.
17. Іван Копинець, Олексій Соколов, Антон Желтобрюх, Василь Головченко. Огляд методів проєктування складу асфальтобетонних сумішей. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 81–90. DOI: [10.36100/dorogimosti2023.27.081](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.081)
18. ДСТУ EN 12697-30:2020 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 30. Готування зразків ударним ущільнювачем (EN 12697-30:2018, IDT). Київ. 2020. 21 с.

19. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ. 2016. 75 с.
20. EN 13108-7:2019 Bituminous mixtures — Material specifications — Part 7: Porous Asphalt. Київ. 2019. 39 с.
21. СОУ 42.1-37641918-123:2014 Норми витрат палива на роботу асфальтозмішувальних установок. Київ. 2014. 20 с.
22. Галузеві розрахунки витрат ресурсів на ремонтно-будівельні роботи на автомобільних дорогах загального користування. Київ. 2022. 285 с.
23. Lori Kathryn Schaus. A thesis «Porous asphalt pavement designs: proactive design for cold climate use» Waterloo, Ontario, Canada, 2007.
24. Іван Копинець, Олексій Соколов, Антон Желтобрюх, Василь Головченко. Залежність об'ємних властивостей асфальтобетону від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та методу ущільнення. Дороги і мости. Київ, 2023. Вип. 27. С. 91–110. DOI: [10.36100/dorogimosti2023.27.091](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.091)
25. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ*, 2021 р. Київ. С. 97.
26. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ*, 2021 р. Київ. С. 101.
27. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVIII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та*

співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2022 р. Київ. С. 91.

28. Желтобрюх А.Д. Особливості проектування складу дренуючого асфальтобетону. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022. С. 49-52.*

29. Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Установлення впливу методу ущільнення на об'ємні властивості асфальтобетонів. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022. С. 76-79.*

30. Антон Желтобрюх, Іван Копинець. Пропозиції щодо установлення національних вимог до зернового складу асфальтобетонних сумішей згідно з ДСТУ EN 13108-1. *Матеріали міжнародної конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво».* Київ, НТУ, 2022. С. 71-74.

31. ДСТУ EN 12697-19:2021 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 19. Проникність зразка (EN 12697-19:2020, IDT). Київ. 2021. 10 с.

32. ДСТУ EN 12697-40:2021 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 40. Дренажність влаштованого покриття (EN 12697-40:2020, IDT). Київ. 2021. 10 с.

33. Асфальт в дорожном строительстве / Юрген Хученройтер, Томас Вернер – М.:ИД «АБВ-пресс», 2013. – 450 с.

34. Gregory J., Taylor P.E. (Copyright 2014). Open-Graded Friction Courses (OGFC). 22 p. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Open-Graded%20Friction%20Courses.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).

35. Prithvi S. Kandhal, P.E., Associate Director National Center for Asphalt Technology (2002). Design, Construction, and Maintenance of Open-

Graded Asphalt Friction Courses. URL: http://driveasphalt.org/assets/content/resources/IS115_Open_Graded_Aspphalt_Friction_Courses.pdf (дата звернення: 20.04.2020).

36. H. Zhang, K. Anupam, A. Scarpas, C. Kasbergen & Sandra Erkens (2019): Effect of stone-on-stone contact on porous asphalt mixes: micromechanical analysis, International Journal of Pavement Engineering. 21:8, 990-1001. (Scopus) DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (дата звернення: 20.04.2020).

37. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wpcontent/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (дата звернення: 20.04.2020)..

38. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011. URL: <https://pavementinteractive.org/open-graded-friction-courses-keeping-an-open-mind/> (дата звернення: 20.04.2020).

39. Huber, G., Performance Survey on Open-Graded Friction Course Mixes. TRB, Synthesis of Highway Practice. 284, 2000. URL: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_284.pdf

40. Kandhal, P.S. and R.B. Mallick. Design of New-Generation Open-Graded Friction Courses. National Center for Asphalt Technology, Research Report 99-3, December 1999. URL: <https://rosap.nhl.bts.gov/view/dot/13973>

41. Open Graded Friction Courses. The Federal Highway Administration Technical Advisory T5040.31. Washington, 1990.

42. Design and Performance of Foamed Bitumen Stabilised Pavements Progress Austroads (2015, June). Report 3. AP-T303-15. Sydney, 2015. URL: <https://austroads.com.au/publications/pavement/ap-t303-15> (дата звернення: 20.04.2020).

43. Geistlinger, L. Open-Graded Friction Courses. Roads & Bridges. Arlington Heights, 1996. N 34 (9). P. 26-32.

44. Рєзнїк О. М., Проектування автомобїльних дорїг на дїлянках з пїдвищеним рївнем небезпеки аквапланування. Квалїфїкацїйна наукова

праця на правах рукопису. Національний авіаційний університет. Київ, 2019.

45. Стасюк Б.О., Економічне оцінювання безпеки автомобільних доріг. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Національний транспортний університет. Київ, 2021.

46. A manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary. Transportation Research Board. NCHRP Report 673. National Academy of Sciences. Washington, 2011. 285 p.

47. ASTM D7064/D7064M-08 (2013) Standard Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design.

48. ASTM D6932 / D6932M – 08 (2013) Standard Guide for Materials and Construction of Open-Graded Friction Course Plant Mixtures.

49. TL Asphalt - StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen.

50. ДСТУ EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT) Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 35. Лабораторне змішування. Київ, 2020. 24 с. (Інформація та документація). Київ. 2019.

51. Chen, JS., Yang, C.H. Porous asphalt concrete: A review of design, construction, performance and maintenance. *Int. J. Pavement Res. Technol.* **13**, 601–612 (2020) (SCOPUS). <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0039-7>.

52. ASTM D 2872-19 Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). 2019. 12 p. (Інформація та документація).

53. ASTM D1754 / D1754M - 20 Standard Test Method for Effects of Heat and Air on Asphaltic Materials (Thin-Film Oven Test). 2020. 7 p. (Інформація та документація).

54. Hveem F., Zube E., Skog J. Proposed new tests and specifications for paving grade asphalts. *Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings* (1963). Vol. 32. P. 271–327.

55. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2016. 104 с. (Інформація та документація).
56. ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. Київ, 2001. 16 р. (Інформація та документація).
57. ДСТУ Б В.2.7-135:2014 Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови. Київ, 2015. 19 с. (Інформація та документація).
58. Skog J. Setting and durability studies on paving grade asphalts. *Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings* (1967). Vol 36. P. 387–420.
59. ВБН Г.1-218-050-2001 Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2001. 12 с. (Інформація та документація).
60. Harrigan E.T, Leahy R.B., Youtcheff J.S. (1994). The Superpave mix design system: Manual of specifications, test methods and practices. SHRP-A-379, Strategic Highway Research Program. Washington: National Research Council, 1994. 255 p.
61. Pauls J.T., Welborn J.Y. Studies of the hardening properties of asphaltic materials. *Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings* (1952). Vol. 21. P. 48–75.
62. Khalid H.A., Walsh C.M. Relating mix and binder fundamental properties of aged porous asphalt materials. *Proceedings 2nd Eurasphalt & 27 Eurobitume Congress, Session 1: Performance Testing and Specifications for Binder and Mixtures* (2000). Barcelona. P. 398–405.
63. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. – Чинні від 2019.06.01. – Київ: Міністерство інфраструктури України, 2019. 60 с.
64. ДСТУ EN 12697-24:2018 (EN 12697-24:2012, IDT) Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 24. Опір втомі. – Чинний від 2019.01.01. – Київ: Державне

підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2018. – 43 с.

65. Довідник № 4 Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплогового режиму в дорожньому будівництві. Київ: Державне агенство автомобільних доріг України, Київ, 2018. – 98 с.

66. Evaluation of fatigue resistance for modified asphalt concrete mixtures based on dissipated energy concept / Farag Khodary Moalla Hamed. – Darmstadt: Department of Civil Engineering and Geodesy Technische Universität, 2010. – 156 p.

67. Кизима С. С. Експлуатація автомобільних доріг. К. : МОНУ/НТУ, 2009. 272 с.

68. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Вища школа, 1977. – 116 с.

69. Конспект лекцій з дисципліни «Наукові основи довговічності в будівництві та експлуатації автомобільних доріг та аеродромів». Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 2020 р. – 57 с. URL: https://odaba.edu.ua/upload/files/MV_OK9_lekts_Nauk.osn._dovg_.pdf

70. Kline, Laura, "Comparision of open graded friction course mix design methods currently used in the united states" (2010). *All Theses*. 846. https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/846

71. Золотарев В.А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны. Часть 2. Дорожные асфальтобетоны: учебник / В.А. Золотарев. – Харьков: ХНАДУ, 2016. – 204 с.

72. Hongchang Wang, Minggang Zhou, Ming Li, Kunitomo Sugiura. Research on Drain and Counter-Clogging Ability of Porous Asphalt Mixture/ The open civil engineering journal (SCOPUS). 2015 P. 962-967. DOI: [10.2174/1874149501509010962](https://doi.org/10.2174/1874149501509010962)

73. PEI, Jian-zhong; ZHANG, J. L. Void spatial information acquisition method of draining asphalt pavement. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, (Web of Science, Scopus), vol. 30, no. 1, pp. 6-11, 2010.

74. J. Yi, "Criterion of Air Voids Based on Permeability Characteristic of Asphalt," *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, vol. 26, no. 9, pp. 17-19, 2009

75. . Wang, "Distribution properties of internal air voids in asphalt mixtures," *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 6-11, 2009

76. Y. Zhu, "Research on Drainage Performance and Design of Drainage Structure on the Porous Asphalt Pavement," *Southeast University: School of Transportation Southeast University*, pp. 6-31, 2004.

77. Xiang Ma, Qiang Li, Yu-Chao Cui & An-Qi Ni (2018) Performance of porous asphalt mixture with various additives, *International Journal of Pavement Engineering*, CiteScore (Scopus), 19:4, 355-361, DOI: 10.1080/10298436.2016.1175560.

78. AASHTO, 2010. Provisional standards. 14th ed. Washington, DC. Cooley, L.A., Brown, E.R., and Watson, D.E., 2000. Evaluation of OGFC mixtures containing cellulose fibers. NCAT Report No. 2000-05.

79. Gemayel, C.A. and Mamlouk, M.S., 1988. Characterization of hot-mixed open graded asphalt mixtures. *Transportation Research Record*, 1171, 184–192, Transportation Research Board, Washington, DC.

80. Jun Chen, Ph.D. ; Hui Li, Ph.D., P.E., M.ASCE ; Xiaoming Huang, Ph.D. ; and Jiantao Wu, Ph.D. Permeability Loss of Open-Graded Friction Course Mixtures due to Deformation-Related and Particle-Related Clogging: Understanding from a Laboratory Investigation. *Journal of Materials in Civil Engineering* March 2015 (Web of Science) DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001282

81. Tan, S. A., Fwa, T. F., and Han, C. T. (2003). "Clogging evaluation of permeable bases." *J. Transp. Eng.*, 10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:3(309), 309–315.

82. . Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д., Удосконалення технології влаштування покриття з використанням дренаючих асфальтобетонів. *LXXIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу,*

аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2023 р. Київ. С. 169.

83. Vyacheslav Savenko, Sergii Illiash, & Tetiana Stasiuk. (2020). Feasibility study for the applicability of applying the hot recycling technology for repair of asphalt concrete pavements. *World Science*, 1(5(57), 7-13. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31052020/7070

84. СОУ 42.1-37641918-034:2018 Дорожні машини та механізми. Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин і механізмів. Київ, 2018. 42 с.

85. H. Iwata, T. Watanabe, T. Saito, Study on the Performance of Porous Asphalt Pavement on Winter Road Surface Conditions. World Road Association (PIARC), XIth International Winter Road Congress, Sapporo, Japan, 2002.

86. Shigeki Takahashi s.takahashi.ai@enexco.co.jp (2013) Comprehensive study on the porous asphalt effects on expressways in Japan: based on field data analysis in the last decade, Road Materials and Pavement Design, (Scopus) 14:2, 239 255, DOI: [10.1080/14680629.2013.779298](https://doi.org/10.1080/14680629.2013.779298)

87. E. Pucher, J. Litzka, J. Haberl, J. Girard, Report on recycling of porous asphalt in comparison with dense asphalt. SILVIA036-01-WP3-260204. Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control, European Commission, Brussels, Belgium, 2004.

88. M.O. Hamzah, M. R. M. Hasan, M. Van de Ven, Permeability loss in porous asphalt due to binder creep, Constr. Build. Mater. (Scopus) 30 (1) (2012) 10–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.038>

89. Moore, L. M., Hicks, R. G., & Rogge, D. F. (2001). Design, Construction, and Maintenance Guidelines for Porous Asphalt Pavements. Transportation Research Record, (Scopus) 1778(1), 91-99. <https://doi.org/10.3141/1778-11>

90. Jianyou Huang, Jianzhong Pei, Yang Li, Haiyang Yang, Rui Li, Jiupeng Zhang, Yong Wen, Investigation on aggregate particles migration characteristics of porous asphalt concrete (PAC) during vibration compaction process, Construction and Building Materials, SCOPUS, Volume 243, 2020, 118153, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118153>.

91. P. J. Vardanega, State of the art: permeability of asphalt concrete, J. Mater. Civ. Eng. (Scopus) 26 (1) (2014) 54-64. DOI:[10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000748](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000748)
92. B.J. Putman, K.R. Lyons, Laboratory evaluation of longterm draindown of porous asphalt mixtures, J. Mater. Civ. Eng. (Scopus) 27 (10) (2015) 04015009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001260](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001260)
93. H.A. Smith, Performance Characteristics of Open-graded Friction Courses, Synthesis of Highway Practice 180, Transportation Research Board, Washington DC, USA, 1992. URL: http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_180.pdf
94. Pichaya Rungruangvirojn & Kunnawee Kanitpong (2010) Measurement of visibility loss due to splash and spray: porous, SMA and conventional asphalt pavements, International Journal of Pavement Engineering, (Scopus) 11:6, 499-510, DOI: 10.1080/10298430903578945.
95. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). Open-Graded Friction Course for Highways. Synthesis of Highway Practice 49. Transportation Research Board, Washington DC, USA, 1978. URL: http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_49.pdf
96. Yaolu Ma , Xianhua Chen , Yanfen Geng, and Xinlan Zhang. Effect of Clogging on the Permeability of Porous Asphalt Pavement. Advances in Materials Science and Engineering Volume 2020, (SCOPUS), Article ID 4851291, 9 pages <https://doi.org/10.1155/2020/4851291>
97. H. Wang and M. Zhou, “Drain ability and anti-clogging ability of porous asphalt mixture,” Journal of Building Materials, (SCOPUS), vol. 19, no. 2, pp. 413–416, 2016, in Chinese. DOI: [10.3969/j.issn.1007-9629.2016.02.035](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2016.02.035)
98. Teng Xu-qiu , Zhao Dongdong, and Zhang Fuqiang. Study on Damage of the OGFC Mixture Based on Characteristics of Void Distribution. Advances in Materials Science and Engineering Volume 2022, (SCOPUS) Article ID 1844556, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2022/1844556>.
99. B.P.D.P.P. Bamunuarachchia ,W.K. Mampearachchi. Investigation of Durability of Open Graded Friction Courses. Transportation Research Procedia

48 (2020), SCOPUS, ISSN 2352-1465, p. 3696–3705.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.291>

100. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ, 2010. 80 с.

101. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Київ, 1998. 12 с.

102. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. Київ, 2010. 23 с.

103. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. Київ, 2014. 34 с.

104. ДСТУ EN 12697-8:2018 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 8. Визначення показників пористості асфальтобетонних зразків (EN 12697-8:2003, IDT). Київ, 2018. 15 с.

105. FM 5-565. Florida method of test for measurement of water permeability of. Compacted asphalt paving mixtures.

106. Галузеві розрахунки витрат ресурсів на експлуатацію дорожніх машин і механізмів. Київ, 2022. 22 с.

107. СОУ 42.1-37641918-035:2018 Автомобільні дороги. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи. Київ, 2018. 361 с.

108. ДСТУ Б Д.2.2-27:2016 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Автомобільні дороги (Збірник 27). Київ, 2016. 86 с.

109. De Pascale, B.; Tataranni, P.; Bonoli, A.; Lantieri, C. Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Porous Asphalt Mixtures with Sustainable and Recycled Materials: A Cradle-to-Gate Approach. *Materials (Scopus, Web of Science)* 2023, 16, 6540. <https://doi.org/10.3390/ma16196540>

110. Carsten B. Nielsen. Clogging of porous pavements Ministry of Transport and Energy - Assessment of test sections. Technical note 54, 2007, 56

p.

https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/clogging_of_porous_pavements.pdf

111. Carsten B. Nielsen. Durability of porous asphalt - International experience. Danish Road Institute Technical note 41, 2006, 32 p.

https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/durability_of_porous_asphalt.pdf

112. Schäfer V. (2004): Experiences with porous asphalt of a new generation on the motorway A2 in Northern Germany (Lower Saxony). 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna. <https://trid.trb.org/view/743760>

113. Pasetto M. (2000): Porous asphalt concretes with added microfibres 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona.

<https://nap.nationalacademies.org/read/23001/chapter/27>

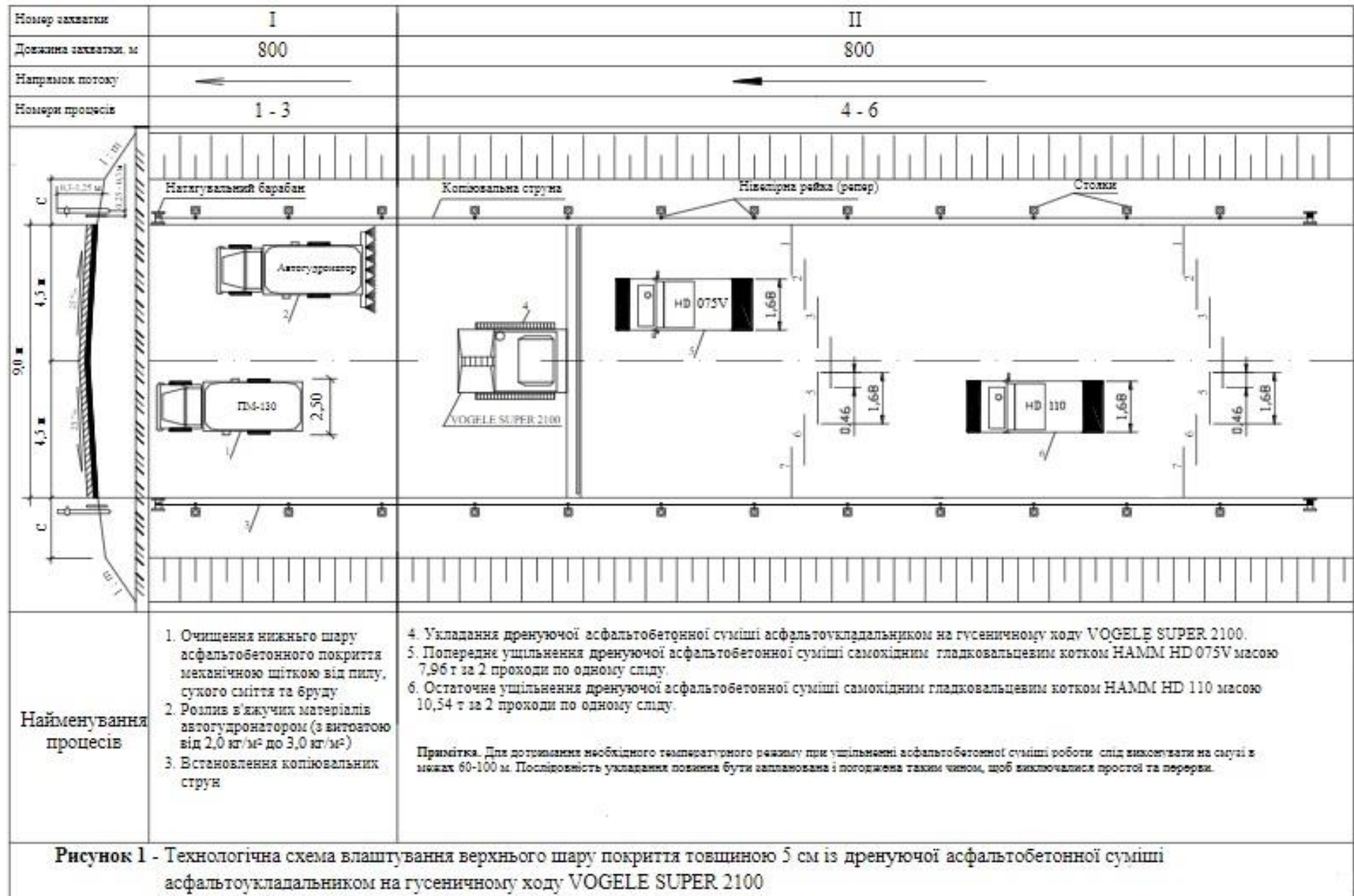
114. Kabir, M. S., King, W., Abadie, C., Icenogle, P., & Cooper, S. B. (2012). Louisiana's Experience with Open-Graded Friction Course Mixtures. *Transportation Research Record*, 2295(1), 63-

71. <https://doi.org/10.3141/2295-08>

115. L. D. Poulidakos et al., "Mechanical properties of porous asphalt, recommendations for standardization," Fac.l'environnement Nat. Archit. construit, Lab. des voies Circ. - LAVOC, no. Dezember 2006, p. 110, 2006
URL:

https://www.researchgate.net/publication/374476172_Application_of_Permeable_Pavement_in_Urban_Roads_as_an_Alternative_Flooding_Reduction_in_Jakarta

ДОДАТОК А
ТИПОВА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА УЛАШТУВАННЯ ШАРУ З
ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ ТА ВАРІАНТИ
КОНСТРУКЦІЙ ВОДОВІДВЕДЕННЯ



ВАРІАНТИ КОНСТРУКЦІЙ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

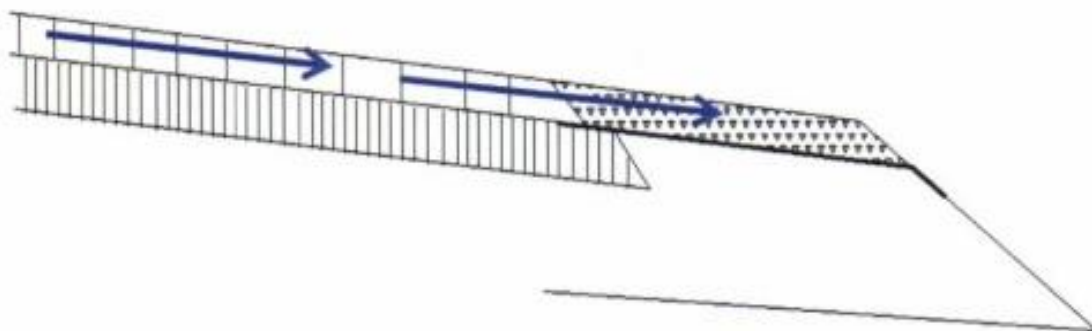


Рисунок А1. Схема водовідведення через узбіччя. Узбіччя влаштовується із щебеню, геомембрани або дренажної системи (прошарки), щоб запобігти потраплянню води у відкосну частину земляного полотна.

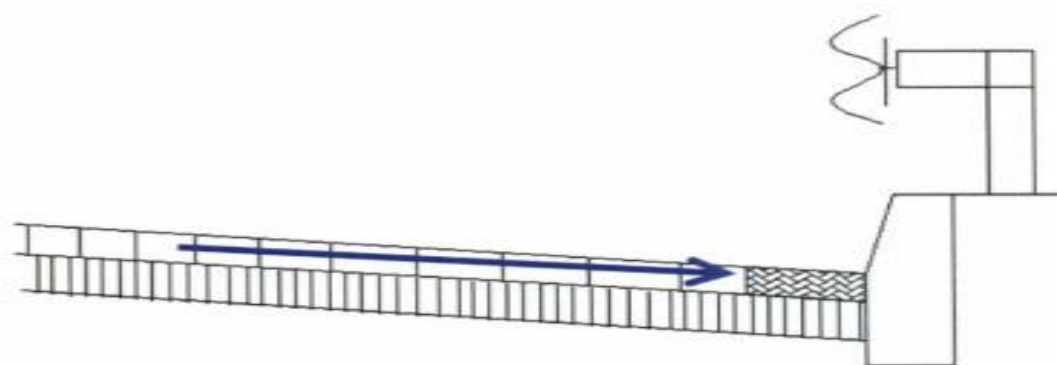


Рисунок А2. Схема водовідведення за допомогою водовідвідних лотків розміщених в шарі покриття з бічним збором води.

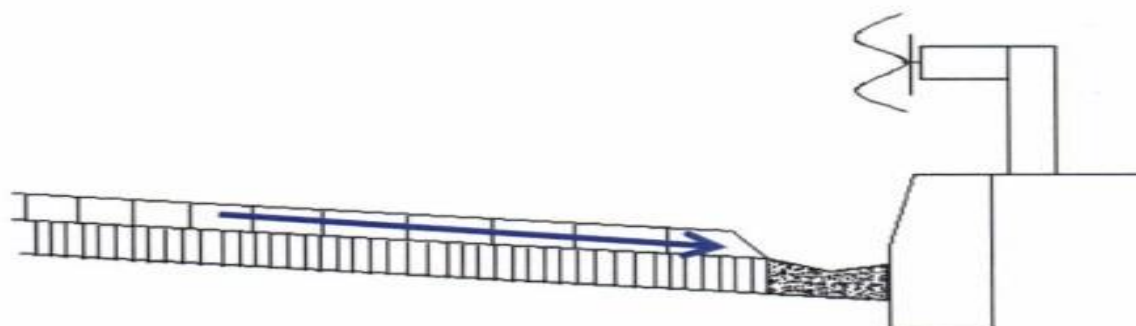


Рисунок А3. Схема водовідведення за допомогою відкритих залізобетонних водовідвідних лотків в водонепроникному нижньому шарі.

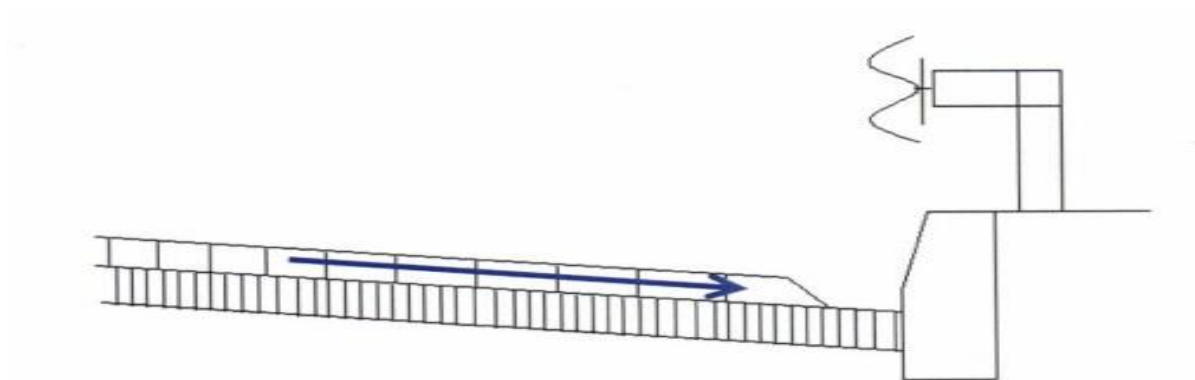


Рисунок А4. Схема водовідведення за допомогою лотка, який створений за допомогою улаштування шару дренуючого асфальтобетону менше на 10-20 см відносно нижнього непроникного шару.

А1. Для відведення води з лотків через кожні 75 - 400 м потрібно влаштовувати пристрої для збросу води за межі укосів, або збір в ливневу каналізацію за межами проїздної частини.

А2. Якщо дренуючий шар влаштовується на спуску з позовжнім похилом більшим за поперечний похил, то в цьому шарі необхідно влаштовувати перехоплюючий дренаж в інтервалі від 75 м до 100 м у вигляді трубчастих перфорованих дрен та з крупноуламкових матеріалів з відведенням води за межі укосів земляного полотна.

ДОДАТОК Б
РОЗРОБЛЕНІ ДОКУМЕНТИ

**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)**

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут
імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»)

РЕКОМЕНДОВАНО

Науковою радою
Державного агентства автомобільних доріг
України (Укравтодор)
Протокол від «15» зрудня 2021 р.
№ 1

РЕКОМЕНДОВАНО

Науково-технічною радою
ДП «ДерждорНДІ»
Протокол від «14» сервня 2021 р.
№ 3

**РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИРОБНИЦТВА ТА ВЛАШТУВАННЯ
ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ**

Р В.2.7-37641918-919:2021

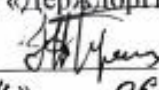
ПОГОДЖЕНО

Начальник відділу інноваційного
розвитку Департаменту технічного
забезпечення та інноваційного
розвитку

 О.Ю. Тимошук
«15» 12 2021 р.

ПОГОДЖЕНО

Начальник відділу нормоконтролю
ДП «ДерждорНДІ»

 М.М. Стулій
«14» 06 2021 р.

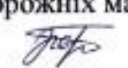
РОЗРОБЛЕНО

Перший заступник директора, к.т.н
 С.Цинка
«11» 06 2021 р.

Науковий керівник,
завідувач відділу бітумних
в'язучих та асфальтобетонів
Центру дорожніх матеріалів та
технологій

 І.В. Копинець
«11» 06 2021 р.

Відповідальний виконавець,
молодший науковий співробітник
лабораторії асфальтобетонів
відділу бітумних в'язучих Центру
дорожніх матеріалів та технологій

 А.Д. Желтобрюх
«11» 06 2021 р.

Київ
2021



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**ДСТУ EN 12697-19:202_
(EN 12697-19:2020, IDT)**

БІТУМОМІНЕРАЛЬНІ СУМІШІ

Методи випробування

Частина 19. Проникність зразка

Видання офіційне

Київ

ДП «УкрНДНЦ»

202_



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ EN 12697-40:2021
(EN 12697-40:2020, IDT)

БІТУМОМІНЕРАЛЬНІ СУМІШІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ

**Частина 40. Дренажність
влаштованого покриття**

Київ
ДП «УкрНДНЦ»
2022

ДОДАТОК В
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК



**Державне агентство відновлення та розвитку
інфраструктури України**

Управління цифрового та інноваційного розвитку
03150, м. Київ, вул. Фізкультури, 9 Тел./факс: (044) 287-46-55
E-mail: gudyma.iv@restoration.gov.ua

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Желтобрюха Антона Дмитровича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи Желтобрюха А.Д. було впроваджено в Державному агентстві автомобільних доріг України (Укравтодор) при виконанні науково-дослідних робіт згідно з договорами № 51-19 від 16 квітня 2019 року «Провести дослідження та розробити рекомендації з приготування асфальтобетонних сумішей та влаштування дорожнього покриття із дренуючого асфальтобетону» (№ державної реєстрації 0119U101541). В результаті виконання робіт були розроблені:

Р В.2.7-37641918-919:2021 «Рекомендації щодо виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону».

Начальник Управління
цифрового та
інноваційного розвитку

Ірина ГУДИМА



ДОВІДКА

про впровадження результатів науково-дослідної роботи

Желтобрюха Антона Дмитровича

Результати дисертаційної роботи Желтобрюха А.Д. за темою «Удосконалення технології влаштування покриття з використанням дренуючих асфальтобетонів» було впроваджено в навчальний процес, а саме при викладанні дисципліни «Технологія будівництва доріг», «Сучасні технології будівництва доріг», а також в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

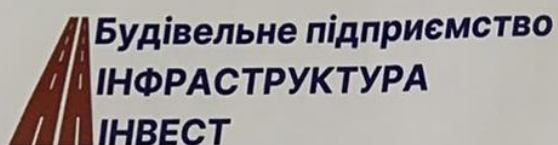
Перший проректор,
професор



Декан факультету
транспортного будівництва,
професор

Олександр ГРИЩУК

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"

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок дисертаційної роботи

Желтобрюха Антона Дмитровича

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційного дослідження Желтобрюха А.Д. щодо проектування та застосування технології влаштування покриттів із дренуючих асфальтобетонів отримали практичне використання під час проектування складу дренуючого асфальтобетону в ТОВ «БУДІВЕЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ІНФРАСТРУКТУРА ІНВЕСТ».

Директор



Андрій ЯРОШЕВИЧ

ДОДАТОК Г
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. A.D. Zheltobriukh, V.Y. Savenko. (2023) Technical and economic justification of the feasibility of using the technology of laying covers from draining asphalt concrete. World Science. 3(81). doi:10.31435/rsglobal_ws/30092023/8052

Статті у фахових виданнях:

2. Желтобрюх Антон, Копинець Іван, Соколов Олексій. Особливості проєктування та використання дренажного асфальтобетону // Дороги і мости. – 2020. – Вип. 21. – С. 168-176. DOI: [10.36100/dorogimosti2020.21.168](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168)

3. Іван Копинець, Антон Желтобрюх. Результати експериментів із підбору складу дренажного асфальтобетону. Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 25. С. 40–47. DOI: [10.36100/dorogimosti2022.25.040](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.040)

4. Желтобрюх А.Д., Савенко В.Я. Метод розрахунку необхідної товщини покриття із дренажного асфальтобетону *Вісник Національного транспортного університету*. Випуск 55. 2023. С. 115 – 123. DOI: [10.33744/2308-6645-2023-1-55-115-123](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-115-123)

5. Усиченко О.Ю., Желтобрюх А.Д. Встановлення технічних вимог щодо дренажного асфальтобетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2023. Вип. 113.1. С. 83-98. DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-083-097

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Антон Желтобрюх, Павло Малій, Тетяна Одегова, Олександр Тимошук. Використання асфальтобетонних сумішей на основі спіненого

бітуму // Дороги і мости. – 2019. – Вип. 19-20. – С. 94-106.

DOI: [10.36100/dorogimosti2019.19.094](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.094)

7. Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Дослідження можливості використання дробильних матеріалів виробництва ВАТ «Нікопольський завод феросплавів» під час будівництва доріг. *Автошляховик України*. № 4. 2020. DOI: [10.33868/0365-8392-2020-4-264-52-58](https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-4-264-52-58)

8. Іван Копинець, Олексій Соколов, Антон Желтобрюх, Василь Головченко. Огляд методів проектування складу асфальтобетонних сумішей. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 81–90. DOI: [10.36100/dorogimosti2023.27.081](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.081)

9. Іван Копинець, Олексій Соколов, Антон Желтобрюх, Василь Головченко. Залежність об'ємних властивостей асфальтобетону від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та методу ущільнення. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 91–110. DOI: [10.36100/dorogimosti2023.27.091](https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.091)

10. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ*, 2021 р. Київ. С. 97.

11. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVII Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ*, 2021 р. Київ. С. 101.

12. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д. Дренуючі асфальтобетони та їх застосування в дорожніх покриттях. *LXXVIII Наукова конференція*

професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2022 р. Київ. С. 91.

13. Савенко В.Я., Желтобрюх А.Д., Удосконалення технології влаштування покриття з використанням дренуючих асфальтобетонів. *LXXVIV Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2023 р. Київ. С. 169.*

14. Желтобрюх А.Д. Особливості проєктування складу дренуючого асфальтобетону. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022. С. 49-52.*

15. Копинець І.В., Соколов О.В., Желтобрюх А.Д., Головченко В.С. Установлення впливу методу ущільнення на об'ємні властивості асфальтобетонів. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Органічні і мінеральні в'язучі та дорожні бетони на їх основі". Харків, ХНАДУ, 2022. С. 76-79.*

16. Антон Желтобрюх, Іван Копинець. Пропозиції щодо установлення національних вимог до зернового складу асфальтобетонних сумішей згідно з ДСТУ EN 13108-1. *Матеріали міжнародної конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проєктуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво»». Київ, НТУ, 2022. С. 71-74.*