

УДК 625.168

Копинець І. В., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>

Желтобрюх А. Д., <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ІЗ ПІДБОРУ СКЛАДУ ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація

Вступ. Дренуючий асфальтобетон — це асфальтобетон каркасного типу з дуже великою кількістю порожот між зернами щебеню. На відміну від щебенево-мастикового асфальтобетону в дренуючому асфальтобетоні пори не заповнюються 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, що склеює зерна.

Покриття з дренуючого асфальтобетону було створено для підвищення безпеки на автомобільних дорогах, але крім високих зчпних характеристик вони володіють і рядом інших переваг. Висока пористість забезпечує водонепроникність, 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 у кінцевому підсумку — до підвищення рівня безпеки автомобільних доріг.

Проблематика. Довготривалий вплив води на асфальтобетонний шар є визначальним чинником його довговічності. Питання своєчасного відведення поверхневої води з дорожнього покриття є обов'язковим і вирішується шляхом надання поверхні дороги поперечного похилу, однак зазвичай це недостатньо забезпечує захист дорожнього покриття від негативного впливу води. Висока експлуатаційна безпека, підвищення експлуатаційних характеристик дорожнього покриття досягається завдяки усуненню з його поверхні застою води, яке знижує зчеплення коліс із дорожнім покриттям. Ці якості можна покращити за рахунок впровадження дренуючого асфальтобетону.

На теперішній час в Україні відсутні нормативні документи, які б регламентували проектування, виробництво та виконання робіт за даною технологією, що унеможливило її практичне використання та обмежує оптимізацію та розвиток дорожньої галузі України в цьому напрямку.

Мета. Виконати аналіз існуючого досвіду проектування дренуючого асфальтобетону. Теоретичне та експериментальне обґрунтування можливості отримання дренуючого асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор, яка дозволяє швидко відводити поверхневу воду.

Матеріали і методи. Експериментальне дослідження дренуючих асфальтобетонів.

Результати. Проведено аналітичний огляд досвіду проектування дренуючого асфальтобетону. Вивчено та проаналізовано етапи підбору складу суміші, проведено експериментальні дослідження з підбору зернового складу та вмісту бітуму в дренуючому асфальтобетоні.

Висновки. На основі аналізу експериментальних досліджень щодо особливостей підбору складу дренуючих асфальтобетонів встановлено, що для його виробництва потрібно використовувати щебінь вузьких фракцій та дотримуватися жорстких вимог до щебеневи

матеріалів. У ході роботи підбрано зерновий склад мінеральної частини асфальтобетонних сумішей для дренажного асфальтобетону та встановлено оптимальний вміст бітуму для сумішей з різним максимальним розміром зерен.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, відкрита пора, дренажний асфальтобетон, зерновий склад, пористість.

Вступ

Дренажний асфальтобетон — це асфальтобетон каркасного типу з дуже великою кількістю порождин між зернами щебеню. На відміну від щебенево-мастикового асфальтобетону в дренажному асфальтобетоні пори не заповнюються бітумно-піщаним розчином. У США цей матеріал отримав назву «Open graded friction course» («OGFC») і застосовується вже понад 60 років [1].

Методика проектування дренажних асфальтобетонних сумішей, перші принципи якої було розроблено Federal Highway Administration (FHWA) у 1974 році, відрізнялася від методики підбору для звичайних сумішей, що пов'язано з особливістю структури цього матеріалу. Незалежно від методу підбору складу висока пористість призводить до зниженої кількості міжзернових контактів і, як наслідок, до зниження довговічності дренажного асфальтобетону. Більшість методів проектування складу для поліпшення експлуатаційних характеристик рекомендовано підвищити вміст в'язучого, використовувати більш в'язке в'язуче або ввести відповідні модифікуючі добавки [1].

Головною особливістю дренажного асфальтобетону є його пористість, що досягає (20–30) % та висока зсувостійкість, що досягається за рахунок міцності самого щебеневого каркаса (високе внутрішнє тертя та заклинювання зерен щебеню) і міцності в'язучого, що склеює зерна. 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 з щільних асфальтобетонних сумішей. Це досягається за рахунок особливостей зернового складу суміші, основну частку якого становить однофракційний щебінь [2].

На відміну від дренажних асфальтобетонів, що використовують у США (OGFC), в Європі дренажні асфальтобетони мають дещо більшу пористість від 18 % до 28 %, вимагають обов'язкового застосування бітуму, модифікованого полімером, і пред'являють більш високі вимоги до мінеральних матеріалів [3].

Призначенням дренажного асфальтобетону є відведення води через його пори до водонепроникного нижнього шару, а потім за рахунок поперечного похилу до узбіччя. Крім того дренажний асфальтобетон може надати низку інших переваг [1–6]:

- зменшити бризки води та їх розпилення;
- зменшити аквапланування;
- забезпечити високе зчеплення на мокрому покритті;
- підвищити видимість нанесеної розмітки;
- зменшити нічний відблиск поверхні у вологу погоду;
- зменшити шум дорожнього покриття при проїзді транспортних засобів.

Таким чином покриття з дренажного асфальтобетону підвищують безпеку дорожнього руху.

Основна частина

Проектування дренажного асфальтобетону включає вибір заповнювачів та в'язучого, підбір гранулометричного складу та оптимального вмісту в'язучого, а також випробування асфальтобетонної суміші на стикання та асфальтобетону на стирання і водостійкість.

Першим етапом у процесі проєктування дренаючих 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 дренаючих асфальтобетонів повинен бути достатньо міцним для опору транспортним навантаженням, оскільки дренаючий асфальтобетон складається із заповнювача однакового розміру з малим вмістом дрібних часток і має структуру «камінь на камені».

Під час проведення досліджень використовували:

- бітум дорожній, модифікований полімером, марки БМПП 40/60-68;
- щебінь фракції 5-10 мм та 10-20 мм;
- пісок із відсівів подрібнення гірських порід виробництва;
- вапняковий мінеральний порошок;
- целюлозна стабілізуюча добавка.

Результати випробування вихідних матеріалів наведено у **табл. 1** і **табл. 2**.

Таблиця 1

Результати випробування бітуму

Ч. ч.	Найменування показників	Фактичні значення показників
1	Однорідність	У в'язучому відсутні згустки та частки полімеру
2	Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	59
3	Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	70,0
4	Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	91
5	Розтяжність (дуктильність) за температури 0 °С, см	23
6	Еластичність за температури 25 °С, %	90
7	Температура крихкості, °С	нижче ніж мінус 30
8	Зчеплюваність з поверхнею щебеню, бал	5
9	Зчеплюваність з поверхнею скла, %	100
10	Залишкова пенетрація, %	86
11	Зміна температури розм'якшеності після прогріття, °С	4,2

На другому етапі виконували підбір зернового складу залежно від області застосування дренаючих 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 дренаючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині, клімат якої є близьким до клімату України, залежно від максимального розміру зерен щебеню [7].

Оскільки для виробництва дренаючого 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.

Підібраний зерновий склад мінеральної частини асфальтобетонних сумішей для дренаючого асфальтобетону наведено в **табл. 3**.

Таблиця 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:		
	- $1,25 D_{\text{найб}}$, % за масою	0	0
	- $D_{\text{найб}}$, % за масою	6	7
	- $0,5 (D_{\text{найм}} + D_{\text{найб}})$, % за масою	60	62
	- $D_{\text{найм}}$, % за масою	95	93
2	Вміст пиловидних та глинистих часток, % за масою	0,60	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 стираністю	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

Підібраний зерновий склад дренажного асфальтобетону

Розмір отворів сита, мм	Повний прохід, % за масою, в залежності від типу дренажного асфальтобетону								
	РА 16			РА 11			РА 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

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 [4]. 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 [8].

Результати випробування дренаючого асфальтобетону залежно від максимального розміру зерен наведено в **табл. 4–6**.

Таблиця 4

Результати випробування дренаючого асфальтобетону з максимальним розміром зерен 16 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренаючого асфальтобетону РА 16 з вмістом бітуму, %		
	5,5	6,0	6,5
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

Таблиця 5

Результати випробування дренаючого асфальтобетону з максимальним розміром зерен 11 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренаючого асфальтобетону РА 11 з вмістом бітуму, %		
	6,0	6,5	7,0
Пористість мінеральної частини, %	34	33,3	32,1
Залишкова пористість, %	23,2	22,4	21,2
Міцність, кН	22,1	23,6	24,1

Таблиця 6

Результати випробування дренаючого асфальтобетону з максимальним розміром зерен 8 мм

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування дренаючого асфальтобетону РА 8 з вмістом бітуму, %		
	6,5	7,0	7,5
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

Вибір оптимального вмісту бітумного в'язучого виконують виходячи з економічних міркувань і накопиченого досвіду. Вміст в'язучого залежить від типу суміші. Так, наприклад, для типу РА 8 мінімальний вміст бітуму становить 6,5 %, а для типу РА 16 — 5,5 %.

Виробництво запроєктованої суміші треба виконувати у змішувачах періодичної дії. Каркас суміші складається з однофракційного щебеню, тому питома поверхня 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 і часовий діапазон між завершенням виробництва суміші та її укладанням не дуже великий, що пов'язано з низькою температурою її випуску. Це обумовлює те, що час транспортування суміші не повинен перевищувати 45 хв, а укладання суміші має бути завершено за 60 хв 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.

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 простои та перерви;
- укладання суміші треба виконувати на всю ширину покриття, використовуючи за потреби метод «гаряче до гарячого»;
- ущільнення треба виконувати котками з гладкими вальцями;
- відкривати рух можна тільки після достатнього охолодження, не раніше ніж через 24 год після укладання.

Висновки

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

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.

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.

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.

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 щепеневих матеріалів.

Подальші дослідження спрямовані на встановлення вимог до вихідних матеріалів (щебеню, піску з відсіву дроблення, мінерального порошку, бітумного в'язучого та стабілізуючих добавок), оптимального зернового складу асфальтобетонних сумішей для дренуючого асфальтобетону та вимог до його фізико-механічних властивостей.

Список літератури

1. 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: 07.02.2022).
2. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (дата звернення: 20.04.2020).

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

4. 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/IS-115_Open_Graded_Asphalt_Friction_Courses.pdf (дата звернення: 20.04.2020).

5. 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*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (дата звернення: 20.04.2020).

6. 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).

7. Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Соколов О. В. Особливості проектування та використання дренажного асфальтобетону. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 21. С. 168-176. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168>.

8. 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).

References

1. 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> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].

2. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (Last accessed: 07.02.2022) [in English].

3. TL Asphalt - StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen [in English].

4. 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/IS-115_Open_Graded_Asphalt_Friction_Courses.pdf (Last accessed: 07.02.2022) [in English].

5. 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*. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].

6. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011. URL: <https://pavementinteractive.org/open-graded-friction-courses-keeping-an-open-mind/> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].

7. Anton Zheltobriukh, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov Features design and use of draining asphalt concrete. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2020. Iss. 21. P. 168–176 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168> [in Ukrainian].

8. DSTU EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT) Bitumomineral'ni sumishi. Metody vyprobuvannya. Chastyna 35. Laboratorne zmishuvannya [State Standard of Ukraine (DSTU EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT)) Bituminous mixtures. Test methods. Part 35: Laboratory mixing]. Kyiv, 2020. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Ivan Kopynets, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>

Anton Zheltobriukh, <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

THE RESULTS OF EXPERIMENTS OF THE COMPOSITION OF DRAINING ASPHALT CONCRETE

Abstract

Introduction. It is established that draining asphalt concrete is asphalt concrete of frame type with a very large number of voids between grains of crushed stone. Unlike crushed stone-mastic asphalt concrete in draining asphalt concrete pores are not filled with bituminous sand mortar. The main feature is its porosity, which leads to a slight decrease in its compressive strength at a temperature of 50 ° C, while the shear strength of the coating is very high. It is achieved due to the strength of the crushed stone frame (high internal friction and jamming of gravel grains) and the strength of the binder that binds the grains.

Problem statement. The long-term impact on the asphalt road surface of the aquatic environment is a determinant of its durability. The issue of timely removal of surface water from the pavement is a must and is solved by giving the road surface a cross slope. As practice shows, this does not sufficiently protect the road surface from the adverse effects of water. High operational safety, improved road performance is achieved by removing accumulations of water stains from the surface that reduce the adhesion of the wheels to the road surface. These qualities can be improved by the introduction of draining asphalt concrete.

Unfortunately, today in Ukraine there are no normative documents that would regulate the design, manufacture and execution of works on this technology, which makes it impossible to use it in practice and limits the optimization and development of the Ukrainian road sector in this direction.

Purpose. Perform an analysis of existing experience in the design of draining asphalt concrete. Theoretical and experimental substantiation of the possibility of obtaining draining asphalt concrete with a structure of interconnected open pores, which allows you to quickly drain surface water.

Materials and methods. Experimental research of draining asphalt concrete.

Results. An analytical review of the experience of designing draining asphalt concrete. The stages of selection of the composition of the mixture were studied and analyzed, experimental studies on the selection of the grain composition and bitumen content in the draining asphalt concrete were carried out.

Conclusions. Analysis of experimental studies on the peculiarities of the selection of the composition of draining asphalt concrete found that for the production of draining asphalt concrete using crushed stone of narrow fractions, because it has a special particle size distribution, in contrast to typical dense and crushed-mastic asphalt concrete to crushed stone materials. The granulometric composition of the mineral part of asphalt concrete mixtures for draining asphalt concrete was selected and the optimal bitumen content for mixtures with different maximum grain sizes was established.

Keywords: asphalt mixture, open void, draining asphalt concrete, grain composition, porosity.