

УДК 691.168

Соколов О. В., д-р філос. з буд. та цив. інженерії, <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

ПОРІВНЯННЯ УЩІЛЬНЮВАНOSTІ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ ІЗ ЗОЛОЮ-ВИНЕСЕННЯ ТА ВАПНЯКОВИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Анотація

Вступ. В Україні близько 30 % всієї електроенергії виробляється від спалювання твердого палива — вугілля, сланцю, торфу. У нашій країні налічується близько 15 діючих ТЕС на яких вторинним продуктом утворюється близько 5 – 6 млн тон золошлакових відходів в рік. Таким чином, відходи паливно-енергетичного комплексу, що утворюються в топках теплових електростанцій, являють собою величезні скупчення золи у вигляді пилоподібних залишків і кускового шламу, а також різні зола-шлакові суміші. Ці продукти високотемпературної обробки (1 200 – 1 700 °С) мінеральної частини палива, знайшли широке застосування в багатьох країнах світу і враховуючи світову тенденцію, до збільшення частки вторинного ринку використання відходів, слід прогнозувати підвищення темпів їх переробки і в Україні.

Проблематика. Дорожньо-будівельна галузь, є однією із стратегічних галузей промисловості України, зараз особливо гостро стоїть питання якості та доступності основних будівельних матеріалів для дорожнього будівництва, що безпосередньо пов'язано з її високою матеріаломісткістю. Відомі запаси якісної сировини, яка могла б бути використана як складові асфальтобетону, постійно зменшуються, тому необхідно шукати альтернативні джерела сировини для будівельних матеріалів і вивчати можливість їх застосування. У зв'язку з цим, найбільш ефективним використанням місцевих сировинних ресурсів є використання відходів промислового виробництва, що може стати одним із вирішень проблеми нестачі сировинних матеріалів неорганічного походження.

Мета. Дані дослідження були присвячені порівнянню наповнювачів різного походження на технологічні властивості асфальтобетонних сумішей.

Матеріали і методи. Для проведення досліджень було прийнято мінеральний порошок з вапняку та золи-винесення.

Результати. Розрахунковим методом визначено залишкову пористість зразків асфальтобетону та встановлено, що асфальтобетон із золою-винесення отриманий за 69 обертів гіраторного ущільнювача має нижчу залишкову пористість ніж асфальтобетон із вапняковим наповнювачем, що свідчить про можливість зменшення вмісту бітуму в асфальтобетоні із золою-винесення.

Висновки. Використання золи-винесення у складі асфальтобетону є перспективним рішенням, оскільки це дозволяє зменшити негативний екологічний вплив на навколишнє середовище, зменшити витрати від складування золовідходів, одночасно забезпечуючи високу якість покриття автомобільної дороги.

Розвиток і модернізація дорожньої інфраструктури має стратегічне значення для економічного зростання та підвищення конкурентоспроможності України на світовій арені. Використання в дорожньому будівництві досліджених матеріалів дозволить зменшити видобуток кондиційних природних матеріалів і зменшити шкідливий вплив відходів на довкілля.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, відходи промисловості, зола-винесення, точка блокування.

Вступ

Однією із передумов проєктування складу гарячої асфальтобетонної суміші є те, що густина виготовлених в лабораторії зразків, які використовують для визначення оптимального вмісту бітуму, повинна наближатися до кінцевої густини асфальтобетону шару дорожнього одягу. Якщо густина асфальтобетону занадто низька, то довговічність такого матеріалу буде знижена, а якщо густина асфальтобетону занадто висока, то такий матеріал матиме тенденцію до випотівання в'язучого або утворення колії. Густина асфальтобетону при ущільненні в польових умовах практично завжди є на 1,5 % меншою, ніж густина виготовлених в лабораторії зразків. Це вказує на те, що навантаження ущільнення, які створюють у лабораторних умовах занадто високі [1].

Система проєктування складу суміші Superpave враховує різні умови руху та навколишнього середовища. Одним із головних устаткувань в системі Superpave займає гіраторний ущільнювач Superpave. Гіраторний ущільнювач використовують для ущільнення асфальтобетонних сумішей підбраного складу за проєктної кількості обертань у лабораторії, щоб зможли оцінити об'ємні властивості ущільненого зразка. Оцінені об'ємні властивості включають пористість, пори в мінеральному заповнювачі, пори заповнені бітумом, і співвідношення мінерального порошку до ефективного вмісту бітуму.

Для перевіряння швидкості ущільнення включено два додаткові параметри: густина за початкової кількості обертань ($N_{initial}$) і густина за найбільшої кількості обертань ($N_{maximum}$). Передбачається, що лабораторна проєктна кількість залишкових пор пов'язана з кінцевою густиною асфальтобетону. Загальні характеристики асфальтобетону сильно залежать від конструкції дорожнього одягу та якості будівництва.

Міністерство транспорту штату Іллінойс розробило альтернативу N_{design} , яка називається концепцією «точки блокування», щоб запобігти надмірному ущільненню та подальшому руйнуванню заповнювача в асфальтобетонній суміші [2]. Точку блокування, визначену як обертання, за якого заповнювач «з'єднується» разом, а подальше ущільнення призводить до руйнування заповнювача та дуже невеликого додаткового ущільнення. Дані порівнювали з кривою зростання, проведеною для визначення найбільшої кількості проходів котка по дорозі перед тим, як збільшення густини на місці нівелюється або зменшується.

Було відзначено, що суміші не ущільнюються за однакової кількості проходів, оскільки кожна суміш відрізняється. Ущільнення було зупинено на піку густини до того, як відбулося надмірне руйнування заповнювача. Концепція точки блокування була розроблена на основі порівняння даних Marshall і Superpave за три роки та кривих зростання густини під час улаштування шару дорожнього одягу [2]. Спочатку точку блокування визначили як перше обертання в наборі з трьох обертань за однакової висоти, якому передував один набір з двох обертань за однакової висоти (кожне на 0,1 мм більше, ніж набір із трьох обертань). Вважалося, що точка блокування вказує на розвиток деякого ступеня зчеплення крупного заповнювача і пов'язана з кривою збільшення щільності під час ущільнення на об'єкті. Стандартне відхилення кількості обертів, що дорівнює точці блокування, було менше, ніж стандартне відхилення кількості обертів для отримання 4 % повітряних пустот.

Ваврик і Карпентер [3] уточнили визначення точки блокування як перше обертання в першій появі трьох обертань за однакової висоти, яким передують два набори з двох обертань за однакової висоти (кожне на 0,1 мм вище, ніж набір із трьох обертань), як показано на **рис. 1**.

Даний метод дозволяє визначити закінчення ущільнюваності асфальтобетонних сумішей з використанням гіраторного ущільнювача.

Суть методики полягає в тому, що зразок асфальтобетонної суміші поміщають у циліндричну форму, обмежену вставками, і витримують за постійної температури в межах визначених допусків упродовж усього часу випробування. Зразок асфальтобетонної суміші ущільнюють згідно з ДСТУ EN 12697-31 [97] за 100 обертів, визначаючи висоту зразка асфальтобетонної суміші після кожного оберту. За результатами оцінювання зміни товщини зразка асфальтобетонної суміші визначають точку блокування, що є характеристикою ущільнюваності асфальтобетонної суміші.

Основна частина

Концепцію точки блокування було взято за основу для розроблення методу для порівняння технологічних властивостей асфальтобетонних сумішей з різними типами наповнювачів. Завдяки цьому методу можна оцінити ущільнення асфальтобетонних сумішей з отриманням оптимальної залишкової пористості матеріалу.

Суть цього методу полягає в оцінюванні технологічних властивостей асфальтобетонної суміші за точкою блокування як перший оберт в блоці з трьох послідовних обертів за яких товщина зразка зменшується менше ніж на 0,1 мм, яким передують два блоки з двох обертів за яких товщина зразка зменшується менше ніж на 0,1 мм, як показано на **рис. 1** і в **табл. 1**.

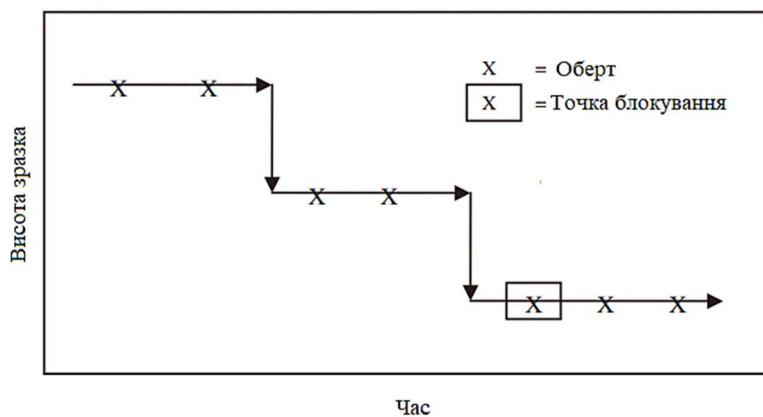


Рисунок 1 — Визначення точки блокування

Таблиця 1

Визначення точки блокування за кількістю обертів гіратора

Кількість обертів	Висота	Густина	Блоки
70	105,258	2 341	1
71	105,215	2 342	2
72	105,179	2 342	1
73	105,139	2 343	2
74	105,098	2 344	1
75	105,054	2 345	2
76	105,007	2 346	3
77	104,973	2 347	
78	104,940	2 348	
79	104,897	2 349	
80	104,867	2 349	

Для проведення випробувань було підібрано зерновий склад асфальтобетонної суміші згідно ДСТУ EN 13108-1 [4].

За результатами випробування було встановлено, що точка блокування для асфальтобетонної суміші із золю-винесення відповідає 69 обертам гіраторного ущільнювача, а точка блокування для асфальтобетонної суміші з вапняковим наповнювачем відповідає 74 обертам (**табл. 2**). Тобто можна стверджувати, що ущільнення асфальтобетонної суміші із золю-винесення відбувається швидше ніж асфальтобетонної суміші з вапняковим наповнювачем. Також встановлено, що об'ємна густина

асфальтобетону із золою-винесення при меншій кількості обертів є більшою і складає 2,397 г/см³, а в асфальтобетоні з вапняковим наповнювачем — 2,380 г/см³.

Таблиця 2

Результати випробування асфальтобетону відповідно до точки блокування

Матеріал		Асфальтобетон із вапняком		Асфальтобетон із золою-винесення	
Кількість обертів		74	80	69	80
Очевидна густина крупного заповнювача фракції 8/16 мм, Мг/м ³	ρ _a	2,653	2,653	2,653	2,653
Очевидна густина крупного заповнювача фракції 4/8 мм, Мг/м ³	ρ _a	2,689	2,689	2,689	2,689
Очевидна густина крупного заповнювача фракції 2/4 мм, Мг/м ³	ρ _a	2,675	2,675	2,675	2,675
Очевидна густина дрібного заповнювача фракції 0/2 мм, Мг/м ³	ρ _a	2,676	2,676	2,676	2,676
Очевидна густина мінерального порошку, г/см ³	ρ _f	2,840	2,840	2,610	2,610
Очевидна густина бітуму, г/см ³	ρ _b	1,016	1,016	1,016	1,016
Об'ємна щільність асфальтобетону, Мг/м ³	ρ _{bssd}	2,380	2,385	2,397	2,407
Вміст крупного заповнювача фракції 8/16, %	ρ _a	35,000	35,000	35,0	35,000
Вміст крупного заповнювача фракції 4/8, %	ρ _a	19,000	19,000	19,0	19,000
Вміст крупного заповнювача фракції 2/4 мм, %	ρ _a	7,000	7,000	7,0	7,000
Вміст дрібного заповнювача фракції 0/2 мм, %	ρ _a	33,000	33,000	33,0	33,000
Вміст наповнювача, %	ρ _f	6,000	6,000	6,0	6,000
Вміст бітуму (понад 100 %), %	ρ _b	5,300	5,300	5,3	5,300
Вміст бітуму (в 100 %), %		5,030	5,030	5,03	5,030
Розрахункова максимальна щільність суміші мінеральних матеріалів, Мг/м ³	ρ _a	2,680	2,680	2,666	2,666
Середня густина мінеральної частини, Мг/м ³	ρ _m ^м	2,260	2,265	2,276	2,286
Максимальна щільність асфальтобетонної суміші, Мг/м ³	ρ _{mc}	2,476	2,476	2,465	2,465
Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	V _{пор} ^м	15,650	15,470	14,62	14,270
Вміст пор у мінеральному заповнювачі, % за об'ємом	V _{MA}	15,650	15,470	14,62	14,270
Залишкова пористість, % за об'ємом	V _m	3,900	3,700	2,7	2,300
Різниця між залишковою пористістю та водонасиченням, %		2,600	1,900	1,5	1,400
Відсоток пор, заповнених в'язким, % за об'ємом		11,800	11,800	11,9	11,900
Відсоток пор, заповнених в'язким, %	V _{FVB}	75,300	76,400	81,2	83,600

Висновки

Розрахунковим методом визначено залишкову пористість зразків асфальтобетону та встановлено, що асфальтобетон із золою-винесення отриманий за 69 обертів гіраторного ущільнювача має нижчу залишкову пористість ніж асфальтобетон із вапняковим наповнювачем, що свідчить про можливість зменшення вмісту бітуму в асфальтобетоні із золою-винесення.

Використання золи-виношення у складі асфальтобетону є перспективним рішенням, оскільки це дозволяє зменшити негативний екологічний вплив на навколишнє середовище, зменшити витрати від складування золовідходів, одночасно забезпечуючи високу якість покритву автомобільних доріг.

Розвиток і модернізація дорожньої інфраструктури має стратегічне значення для економічного зростання та підвищення конкурентоспроможності України на світовій арені.

Впровадження асфальтобетону із золою-виношення в Україні відкриває нові можливості для розвитку інфраструктури, забезпечуючи можливість ремонтувати старі та будувати нові дороги за більш вигідними цінами. Заощаджені кошти внаслідок ефективного використання матеріалів можуть бути направлені на відбудову країни в умовах післявоєнного періоду.

Важливо надати пріоритет дорожньому будівництву, як частині відновлення економіки після війни, оскільки це сприятиме залученню інвестицій, створенню нових робочих місць і покращенню умов для життя населення.

Для досягнення успішного впровадження нових технологій під час будівництва і ремонтування автомобільних доріг необхідна співпраця між державними органами, приватним сектором та науковими установами для сприяння інноваційному розвитку та впровадженню передових практик.

Список літератури

1. Brown, E. R., and M. S. Buchanan, NCHRP Research Results Digest 237: Superpave Gyratory Compaction Guidelines, Transportation Research Board, National Research Council, 1999. URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_237.pdf.
2. Brian D. Prowell, E. Ray Brown NCHRP REPORT 573 Subject Areas Materials and Construction Superpave Mix Design: Verifying Gyration Levels in the Ndesign Table NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM URL: https://trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_573.pdf.
3. Vavrik, W. R., and S. H. Carpenter, Calculating Air Voids at Specified Numbers of Gyrations in Superpave Gyratory Compactor, Transportation Research Record 1630: Asphalt Mixtures: Stiffness Characterization, Variables, and Performance, Transportation Research Board, National Research Council, 1998. DOI: <https://doi.org/10.3141/1630-14>.
4. ДСТУ EN 13108-1:2019 Бітумомінеральні суміші. Технічні вимоги до матеріалів. Частина 1. Асфальтобетон (EN 13108-1:2006, IDT). Київ, 2019. 43 с.

References

1. Brown, E. R., and M. S. Buchanan, NCHRP Research Results Digest 237: Superpave Gyratory Compaction Guidelines, Transportation Research Board, National Research Council, 1999 URL: https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_237.pdf [in English].
2. Brian D. Prowell, E. Ray Brown NCHRP REPORT 573 Subject Areas Materials and Construction Superpave Mix Design: Verifying Gyration Levels in the Ndesign Table NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM URL: https://trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_573.pdf [in English].
3. Vavrik, W. R., and S. H. Carpenter, Calculating Air Voids at Specified Numbers of Gyrations in Superpave Gyratory Compactor, Transportation Research Record 1630: Asphalt Mixtures: Stiffness Characterization, Variables, and Performance, Transportation Research Board, National Research Council, 1998. DOI: <https://doi.org/10.3141/1630-14> [in English].
4. DSTU EN 13108-1:2019 Bitumomineralni sumishi. Tekhnichni vymohy do materialiv. Chastyina 1. Asfaltobeton (Bituminous and mineral sums. Technical means for materials. Part 1. Asphalt concrete) (EN 13108-1:2006, IDT). Kyiv, 2019. 43 p. [in English].

Oleksii Sokolov, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>

State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine

COMPARISON OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES WITH FLY ASH AND LIMESTONE AGGREGATE

Abstract

Introduction. In Ukraine, about 30 % of all electricity is generated from the combustion of solid fuels — coal, shale, peat. In our country, there are about 15 operating thermal power plants that generate about 5 – 6 million tons of ash and slag waste per year as a secondary product. Thus, the fuel and energy complex waste generated in the furnaces of thermal power plants is a huge accumulation of ash in the form of dusty residues and lumpy sludge, as well as various ash and slag mixtures. These products of high-temperature processing (1 200 – 1 700 °C) of the mineral part of the fuel are widely used in many countries of the world and, given the global trend towards an increase in the share of the secondary market for the use of waste, it is necessary to predict an increase in the rate of their processing in Ukraine.

Problem Statement. The road construction industry is one of the strategic industries of Ukraine, and the issue of quality and availability of basic building materials for road construction is particularly acute now, which is directly related to its high material intensity. The known reserves of high-quality raw materials that could be used as asphalt concrete components are constantly decreasing, so it is necessary to look for alternative sources of raw materials for construction materials and explore the possibility of their use. In this regard, the most effective use of local raw materials is the use of industrial waste, which can be one of the solutions to the problem of lack of raw materials of inorganic origin.

Objective. This study was devoted to the comparison of aggregates of different origin on the technological properties of asphalt mixtures.

Materials and methods. Mineral filler from limestone and fly ash was used for the study.

Results. The residual porosity of asphalt concrete samples was determined by the calculation method and it was found that asphalt concrete with fly ash obtained after 69 turns of the gyratory compactor has a lower residual porosity than asphalt concrete with limestone aggregate, which indicates the possibility of reducing the bitumen content in asphalt concrete with fly ash.

Conclusions. The use of fly ash in asphalt concrete is a promising solution, as it reduces the negative environmental impact on the environment, reduces the cost of ash waste storage, while ensuring high quality road pavement.

The development and modernization of road infrastructure is of strategic importance for Ukraine's economic growth and competitiveness in the region. The use of the investigated materials in road construction will reduce the extraction of conditioned natural materials and reduce the harmful impact of waste on the environment.

Keywords: asphalt mix, fly ash, industrial waste, blocking point.