

УДК 691-492

- © Золотарьов В. О., докт. техн. наук, професор;
 © Мальяр В. В., канд. техн. наук, доцент;
 © Корюк В. П., науковий співробітник;
 © Свінар'юв М. О., канд. техн. наук, науковий співробітник (ХНАДУ)

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ В ЩЕБЕНІ ЗЕРЕН ПЛАСТИНЧАТОЇ ФОРМИ ЗА EN 933-3

Анотація. Розглянуті методи визначення вмісту зерен пластинчатої форми у складі сумішей різних і окремих фракцій. Освітлені особливості визначення зерен пластинчатої форми на ситах, що рекомендуються EN 933-3:1997.

Ключові слова: щебінь, фракції, сита з круглими, квадратними і щілинними отворами, ситовий аналіз.

Аннотация. Рассмотрены методы определения содержания зерен пластинчатой формы в составе смесей разных и отдельных фракций. Освещены особенности определения зерен пластинчатой формы на ситах, рекомендуемых EN 933-3:1997.

Ключевые слова: щебень, фракции, сита с круглыми, квадратными и щелевыми отверстиями, ситовой анализ.

Abstract. The determination methods of platelet shape granules content in mix proportions of different and individual fractions are considered. The determination factors of platelet shape granules on sieves recommended by EN 933-3:1997 are shown.

Keywords: crushed stone, fractions, sieves with round, square and slotted holes, sieve analysis.

ВСТУП

Форма зерен щебеню для асфальтобетонних сумішей є одним із показників його якості і придатності для отримання якісного асфальтобетону. Стандарт ДСТУ Б В.2.7-119:2011 на суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний [1] диференціює вміст зерен пластинчатої і голчатої форми в щебені залежно від типу і марки суміші: для сумішей типу А з 45-55 % щебеню таких зерен повинне бути менше 15%; типу Б з 35-45 % щебеню – 20 %; типу В з 25-35 % щебеню – 30 %. Для щебенево-мастикового асфальтобетону, відповідно до ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [2], вміст таких зерен – 10-15 %.

Об'єктивність таких меж не обґрунтована з кількох причин: через недостатню чіткість критерію пластинчастості у співвідношенні між мінімальним і максимальним розміром, що характеризує відхилення від сферичності; через складність врахування зерен іншої форми, відмінної від пластинчатої і характеру поверхні зерен. Стандарт BS 812-105.1 [3] відносить до зерен пластинчатої форми такі, у яких товщина істотно менша за довжину і ширину, а до голчатих (витягнутих) – ті, у яких довжина істотно більша, ніж товщина і ширина. Значення цих співвідношень можуть відрізнятися у країнах залежно від призначення щебеню.

Підвищена увага до форми зерен пояснюється її впливом на щільність упаковки і дробильність зерен у процесі ущільнення сумішей та роботою в асфальтобетонних шарах під транспортним навантаженням. Останнє може призвести до зменшення носійної здатності асфальтобетонних шарів і їхнього руйнування. На упаковку найбільше впливає вміст подовжених зерен. Про це свідчить коефіцієнт кореляції, наведений в [4], між пустотністю і нещадністю. Він є найменшим (0,53) порівняно з іншими показниками форми: співвідношення поверхонь (0,87), сферичності (0,80), опуклості (0,83), повноти (0,82).

Недостатність вивчення впливу фактора форми на щільність мінерального кістяка та бетону, а також низький рівень методів контролю форми у виробничих умовах обумовлені відсутністю в нормативній базі оцінки якості щебеню та відповідного інструментарію.

Аналіз нормативних документів за останні 45 років показує, що норми вмісту пластинчатих зерен з кожним новим стандартом на асфальтобетон змінювалися без об'єктивних для цього обґрунтувань від 15 % для багатощебенистого до 40 % для малощебенистого асфальтобетону. Водночас ДСТУ Б В.2.7-74-98 «Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, з відходів промисловості, штучні для будівельних мате-

ріалів, виробів, конструкцій та робіт» [5] класифікує щебінь за максимальним вмістом зерен пластинчастої (лещадної) і голчастої форми від 10 до 35 % на чотири групи: «окатана» – до 10 %; «кубоподібна» – 10...15%; «покращена» – 15...25 %; «звичайна» – 25...35 %. Несумісність вимог до форми зерен щебеню споживачів і виробників очевидна. Також очевидно, що це є одним із факторів зниження якості асфальтобетону у конструкції дорожнього одягу, перевитрати дорожніх мінерального порошку і бітуму. Проблема ускладнюється тим, що насичений щебенем щебенево-мастиковий асфальтобетон для верхніх шарів доріг вищих категорій вимагає пониженого вмісту пластинчатих зерен.

Дотримання вимог стандартів, навіть таких суперечливих, може бути забезпечено у разі надійного методу перевірки вказаних у паспортах даних. Щодо форми щебеню це важко застосувати в реальних умовах, оскільки дотепер контроль цієї властивості щебеню відповідно до [6] здійснюється спрощеним методом, що передбачає: розділення зерен щебеня по фракціях на ситах з невказаною формою комірок (квадратні або круглі), візуальне визначення кількості пластинчатих та голчастих зерен зі вмістом фракції менше 5% за масою; обмір кожного зерна за допомогою шаблона з метою визначення кількості зерен з співвідношенням максимального і мінімального розміру, більшому за 1:3. При цьому аналітична проба може містити різну кількість зерен залежно від фракції 5-10 мм, 10-20 мм, 20-40 мм [6].

Згідно зі стандартом ДСТУ Б В.2.7-71 необхідно розсіювати кожну аналітичну пробу на щілинних ситах з шириною отвору, що вдвічі менша за мінімальний розмір зерна. Таким чином, співвідношення між максимальною довжиною і діаметром зерна дорівнює 4 для зерен крупністю до 20 мм і 3,5 для зерен крупністю 40 мм і більше. Це відрізняється від співвідношення, що дорівнює 3, яке передбачене у визначенні кількості зерен такої форми ручним шаблоном. Крім того, стандарт не регламентує форму отворів сит, що використовуються для відбору проб. В умовах широкого використання зарубіжного дробильно-сортувального і змішувального устаткування це призводить до істотних відхилень лабораторного гранулометричного складу від того, що має місце на виробництві.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Результати експериментальних досліджень

Виходячи з тенденції адаптації стандартів Європейського Союзу, було здійснено відпрацювання методу визначення вмісту зерен пластин-

чатої форми за EN 933-3:1997 «Визначення форми зерен, індекс пластинчастості» [7]. Європейський розподіл зерен щебеня за розмірами передбачає вузьке фракціонування на квадратних ситах з розміром сторін отворів від 80 мм до 4 мм і співвідношенням суміжних розмірів меншого до більшого – 0,8. У разі випробування гранулометричних складів асфальтобетонних сумішей воно дорівнює 0,63. Співвідношення між розмірами круглих ($d_{кр}$) і квадратних ($d_{кв}$) сит відповідає рівнянню:

$$d_{кв} = 0,792 \cdot d_{кр} + 0,125. \quad (1)$$

Для визначення вмісту зерен пластинчастої форми за методом EN 933-3 можуть бути використані сита квадратної форми з розмірами згідно ISO 33310-2: 63/80; 50/63; 40/50; 31,5/40; 25/31,5; 20/25; 16/20; 12,5/16; 10/12,5; 8/10; 6,3/8; 5,6/63 мм і сита, що їм відповідають, – з шириною щілини між стрижнями: 40; 31,5; 25; 20; 16; 12,5; 10,0; 8,0; 6,3; 5,0; 4,0; 3,15; 2,5 мм Співвідношення суміжних щілинних і квадратних сит дорівнює 1,58. Схема розсіювання щебеню представлена на рис. 1 [8], а зовнішній вигляд різних видів сит на рис. 2.

Для досліджень були прийняті проби гранітного щебеню шести виробничих кар'єрів Полтавської, Запорізької і Дніпропетровської областей. Вони включали щебінь вузької фракції 5-10 мм, а також щебінь фракцій 10-20 мм і 5-20 мм. Розсіювання широких фракцій на вузькі проводили на вібростолі з частотою коливань 2800 на 1 хв. та амплітудою до 1 мм. Час вібрації – 15 хв. Маса лабораторних проб за EN 933-3 повинна бути: для зерен розміром: £4 мм – 0,2-1,2 кг; 4-8 мм – 0,6-5,0 кг; 8-16 мм – 2,6-8,0 кг; 16-31,5 мм – 10-12 кг; 31,5-63,0 мм – 40-45 кг. Для розсіювання використовували по дві аналітичні проби з кожного кар'єру. Кожний частинний залишок, що утворився на квадратних ситах, розсіювали на відповідному щілинному ситі. Показник

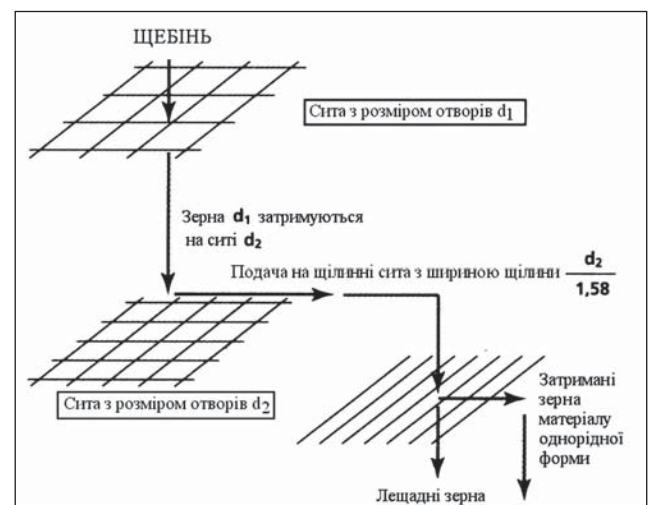


Рис. 1. Схема розсіювання щебеню (відповідно до [8])

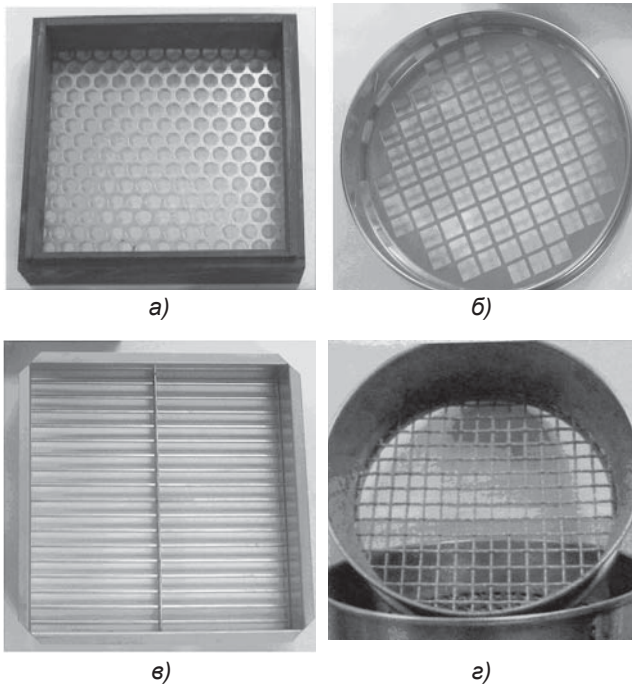


Рис. 2. Сита з круглими:
 а – квадратними (перфорованими),
 б – подовжніми щілинними,
 в – і квадратними (сітчастими), г – отворами

пластинчастості (FI) на кожному ситі визначали за формулою:

$$FI = (m_2/m_1) \times 100, \% \quad (2)$$

де m_2 – маса щебеню пластинчастої форми, яка пройшла крізь щілинне сито;
 m_1 – маса щебеню, висіяна на ситах із квадратними отворами.

Загальну суму зерен пластинчастої форми за EN 933-3 встановлювали як суму мас пластинчатих зерен в окремих фракціях. Наприклад, для

щебеню фракції 10-20 мм визначали загальну суму лещадних зерен для фракцій 10-12,5 мм, 12,5-16 мм, 16-20 мм; на щілинних ситах з просвітом відповідно: 6,3 мм, 8,0 мм і 10 мм.

Проте в ДСТУ Б В.2.7-71 передбачається визначення вмісту зерен пластинчастої форми в цій фракції за кількістю зерен, які пройшли крізь подовжній отвір шириною 5 мм після розсіювання неподіленої на більш вузькі фракції 10-20 мм. Вміст пластинчастої фракції щебеню 10-20 мм одного з кар'єрів Полтавської області за методом EN склав: 14 %, за ДСТУ Б В.2.7-71 методом розсіювання крізь щілинне сито 5 мм – 5,2 %, а методом ручного обміру – 20,1 %.

Приклад розрахунку результатів визначення пластинчастості за методом EN 933-3 наведено в табл. 1.

Головними причинами обмеження вмісту зерен пластинчастої форми в щебені є збільшення пустотності мінерального остову, дробильність зерен у технологічному процесі і в процесі роботи асфальтобетону в дорожньому шарі. Для перевірки деяких з цих уявлень були приготовані модельні проби щебеню фракції 6,3-16 мм, що склалися з: кубовидного щебеню; суміші 30 % зерен пластинчастої форми і 70 % кубовидної; щебеню пластинчастої форми. Дробильність зерен визначали за ДСТУ Б В.2.7-71 у циліндрі діаметром 75 мм. Результати випробування наведені в табл. 2.

Відповідно до цих результатів найнижча дробильність відповідає кубовидному щебеню, а найвища – лещадному щебеню. Рівень дробильності відрізняється незначно. Проте цього достатньо, аби віднести щебінь однієї і тієї ж гірської породи до різних марок: кубовидної – до марки 1200, а лещадної – до марки 600.

Таблиця 1

Результати визначення вмісту зерен пластинчастої форми в щебені фракції 5-20 мм

Фракції на квадратних ситах	Маса залишку після розсіювання на квадратних ситах		Фракції на щілинних ситах	Маса залишку після розсіювання на щілинних ситах	
	гр.	%		гр.	%
16/20	40	0,7	10	-	-
12,5/16	400	7,0	8	153	10,7
10/12,5	436	7,7	6,3	186	13,0
8/10	1424	25,1	5	369	25,8
6,3/8	1418	25,1	4	308	21,6
5/6,3	1413	24,09	3,15	233	16,3
5/4	537	9,5	2,5	181	12,6
Сума	5670	100	Сума	1430	100
Вміст пластинчатих зерен %	25,2 $(\frac{5670}{1430} \cdot 100)$				

Дробильність щебеню різної форми

Вміст щебеню за масою, %	Насипна щільність, кг/м ³		Втрата маси на контрольному ситі 1,25 мм, %	Втрата маси на контрольному ситі 2,5 мм, %
	після вібрування	по ДСТУ Б В.2.7-71		
Кубовидний 100	1540	1400	5,7	10,3
Кубовидний 70 Лещадний 30	1510	1370	6,4	11,5
Лещадний 100	1450	1300	9,1	17,0

Пластинчаті зерна також впливають на насипну щільність. В обох випадках, в умовах ущільнення вібрацією і насипанням з висоти 10 см у циліндр, різниця складає близько 100 кг/м³. Водночас метод вібрації дає більш щільну упаковку, що узгоджується з [9]. У процесі випробування на дробильність змінюється зерновий склад щебеню. Повні залишки на ситі 5 мм після дробильності дорівнюють: щебеню кубовидної форми 10 %, лещадних і кубовидних зерен – 12 %, лещадних – 30 % відповідно. Для проб усіх кар'єрів зменшення розміру фракції удвічі призводить до збільшення пористості на 3-5 %.

Для виконання описаних вище випробувань використовували сита з круглими і квадратними

отворами. Гранулометричні склади мінеральних сумішей, отримані з використанням таких сит, відрізняються. Наприклад, якщо залишок на ситі з круглими отворами (діаметр 5 мм) становить 40 %, то залишок на ситі з квадратними отворами того ж розміру – 45-46 %. Щоб якісно визначити вміст зерен лещадної форми відповідно до EN 933-3, не маючи сит з квадратними отворами, необхідно: виконати розсівання щебеню або мінеральної частини асфальтобетонної суміші на ситах з круглими отворами, потім привести залишки до квадратних сит згідно з табл. 3 та розсіяти кожну фракцію на відповідних щільних ситах, вказаних у тій же таблиці.

Таблиця 3

Відповідність круглих, квадратних і щільних отворів

Види сит	Фракції на ситах і щільні отвори, мм							
Круглі	25/31,5	20/25	16/20	12,5/16	10/12,5	8/10	6,5/8	5/6,5
Квадратні	20/25	16/20	12,5/16	10/12,5	8/10	6,3/8	5/6,3	4/5
Щільні	12,5	10	8	6,3	5	4	3,15	2,5

ВИСНОВКИ

Використовування європейських сит спрощує та уніфікує визначення зерен пластинчастої форми в окремих фракціях або в сукупності.

Встановлення марки щебеню за дробильністю без урахування вмісту в ньому зерен пластинчастої форми може призвести до отримання необ'єктивних результатів, бо наявність таких зерен у масі щебеню підвищує дробильність.

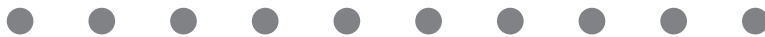
Наявність зерен пластинчастої форми в щебені підвищує пористість мінерального кістяка. Перехід від отворів сит круглої до квадратної форми може бути здійснений за емпіричною формулою (1).

Вимоги до щебеню стандарту ДСТУ Б В.2.7-74 і стандартів на асфальтобетонні суміші істотно розрізняються, що ускладнює забезпечення дорожньої галузі щебенем необхідної якості. Це призводить до необхідності взаємоузгодження та актуалізації цих стандартів з більшою достовірністю, ніж використання методу поштучного вимірювання кожного зерна проби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній і аеродромний. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7. – 119: 2011 [Чинний від 01.10.2012] – К.: Дежстандарт України, 2013. – 32 с. (Державний стандарт України).
2. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [Чинний від 01.07.2016] – К.: Мінрегіон України, 2015. – 30 с. (Державний стандарт України).

3. BS 812-105.1-89: Testing Aggregates – Part105: Methods for determination of particle shape – Section105.1 Flakiness index. British Standards Institution, 1990. – 10 p.
4. A. K. H. Kwan and C. F. Mora Effects of various shape parameters on packing of aggregate particles // Magazine of Concrete Research, 2001, 53, No. 2, April, P. 91–100.
5. Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, з відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація: ДСТУ Б В.2.7-74-98 [Чинний від 01.01.1999] – К.: Мінрегіон України, 1998. – 16 с. (Державний стандарт України).
6. Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід та відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань: ДСТУ Б В.2.7-71-98 [Чинний від 10.12.1997] – К.: Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 1997. – 98 с. (Державний стандарт України).
7. EN 933-3:1997 Test for geometrical properties of aggregates - Part 3: Determination of particle shape, flakiness index.
8. Les enrobes bitumineux. Tom 1. Paris. USIRF. -2001. – 229 p.
9. Serdant T., Laprard F., Angot D. Prevision de la compacite de melanges granulaires pur modele de suspension solide// Bull. Liaison des Labo. P.et Ch., N. 194.– 1994. – P 59-83.



УДК 625.72, 625.04, 625.7, 528.48

© Баран П. І., докт. техн. наук, професор (ІФНТУНГ)

© Буряк К. О., докт. техн. наук, доцент, зав. кафедри (ІФНТУНГ)

ЕФЕКТИВНІ ПЕРЕХІДНІ КРИВІ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Анотація. *Дається порівняльний аналіз сучасних перехідних кривих (клотоїди, кадїоїди і трїоїди) для проектування та реконструкції автодоріг і залізниць з мінімізацією зміщень траси в межах земляного полотна. Показано особливості побудови віражу на кривих та розрахунку поля проектних позначок земляного полотна і дорожнього покриття.*

Ключові слова: *колова крива, клотоїда, кадїоїда, трїоїда, планово-висотне розмічування віражу.*

Аннотация. *Приведен сравнительный анализ современных переходных кривых (клотоиды, кадїоиды и трїоиды) для проектирования и реконструкции автомобильных и железных дорог с минимальными смещениями трассы в пределах земляного полотна. Показано особенности построения виража на кривых и расчета поля проектных отметок земляного полотна и дорожнего покрытия.*

Ключевые слова: *круговая кривая, клотоида, кадїоида, трїоида, планово-высотная разбивка виража.*

Abstract. *A comparative analysis of modern transition curves (clothoids, cadioids and trioids) is given for the design and reconstruction of roads and railways with minimal offsets within the roadbed. The features of the curve formation on the curves and the calculation of the field of design marks of the roadbed and pavement are shown.*

Keywords: *circular curve, clothoid, cadioid, trioid, plan-height breakdown of the bend.*

ВСТУП

Серед широкого класу транспортних перехідних кривих (клотоїда, кадїоїда) важливе місце можна відвести новим кривим типу парабол третього порядку, наприклад, трїоїдів. У більшості європейських країн, зокрема й в Україні, найбільше поширення має перехідна крива клотоїда, яку відносять до класу кубічних

парабол. Кут (в радіанній мірі), який стягує дугу клотоїди, та її змінний радіус визначаються за формулами:

$$\varphi = \frac{l^2}{2RL}; \quad \rho = \frac{dl}{d\varphi} = \frac{RL}{l}, \quad (1)$$

де R – радіус колової кривої; частина l довжина перехідної кривої.