

2. Дорожній одяг жорсткий. Проектування : ГБН В.2.3-37641918-557:2016. – [Чинний з 2017-04-01]. – Київ: Міністерство інфраструктури України, 2016. – 71 с.
3. Малюх, В. Н. Введение в современные САПР: курс лекций. – Москва: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.
4. Автомобільні дороги : ДБН В.2.3-4-2015. – [Чинний з 2019-09-01]. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 89 с.
5. Довідник № 1. Розрахункових характеристик ґрунтів, матеріалів покриттів і основ дорожніх одягів та навантажень від транспортних засобів. – Київ: ХНАДУ, 2017. – 39 с.
6. Довідник № 2. Розрахункових характеристик асфальтобетонів. – Київ: ХНАДУ, 2017. – 39 с.
7. Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги : ГБН В.2.3-37641918-544:2014. – [Чинний з 2015-01-01]. – Київ: Міністерство інфраструктури України, 2014. – 143 с.

References

1. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. (2019). Dorozhnyi odyah nezhorstkyi. Proektuvannya : HBN V.2.3-37641918-559: 2019. [Nonrigit

- pawement. Designing: HBN V.2.3-37641918-559: 2019]. Kyiv, 61.
2. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. (2016). Dorozhnyi odyah zhorstkyi. Proektuvannya: HBN V.2.3-37641918-557:2016. [Rigit pawement. Designing: HBN V.2.3-37641918-557:2016]. Kyiv, 71.
3. Malyukh, V. N. (2010). Vvedenie v sovremennye SAPR: kurs lektsyy. [Introduction to Modern CAD: Lecture Course]. Moscow, DMK Press, 192. [in Russian]
4. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2015). Avtomobil'ni dorogy: DBN V.2.3-4-2015. [Automobile roads: DBN V.2.3-4-2015]. Kyiv, 89.
5. Kharkiv National Highway University. (2017) Dovidnyk № 1. Rozrakhunkovykh kharakterystyk gruntiv, materialiv pokryttiv i osnov dorozhnikh odyahiv ta navantazhen' vid transportnykh zasobiv [Design characteristics of soils, coatings and pavement bases and vehicle loads]. Kyiv, 39.
6. Kharkiv National Highway University. (2017) Dovidnyk № 2. Rozrakhunkovykh kharakterystyk asfal'tobetoniv [Design characteristics of asphalt concrete]. Kyiv, 39.
7. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. (2014) Avtomobil'ni dorohy. Zastosuvannya heosyntetychnykh materialiv u dorozhnikh konstruktsiyakh. Osnovni vymohy: HBN V.2.3-37641918-544:2014. [Highways. The use of geosynthetic materials in road structures. Primary requirements: HBN V.2.3-37641918-544:2014]. Kyiv, 143.

УДК 625.7/.8

© Т. А. Терещенко, канд. хім. наук, провідний науковий співробітник, e-mail: chemistry@dorndi.org.ua, ORCID: 0000-0001-7584-9031;

© С. І. Ілляш, завідувач відділу, e-mail: sergillyash@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3001-8012 (ДП «ДерждорНДІ»)

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-3-259-42-50

© Tatiana Tereshchenko, Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Officer, e-mail: chemistry@dorndi.org.ua, ORCID: 0000-0001-7584-9031;

© Serhii Illiash, Chief of Department, e-mail: sergillyash@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3001-8012 (State Enterprise «N. P. Shulgin State Road Research Institute»)

ДОСВІД ПРОЄКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОЛОЖЕНЬ ЄВРОПЕЙСЬКИХ СТАНДАРТІВ ЩОДО МАТЕРІАЛІВ, УКРІПЛЕНИХ ГІДРАВЛІЧНИМ В'ЯЖУЧИМ

EXPERIENCE ON DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROAD PAVEMENTS USING THE CLAUSES OF EUROPEAN STANDARDS ON HYDRAULICALLY BOUND MATERIALS

Анотація. Суміші, укріплені гідравлічним в'язучим (hydraulically bound mixtures, HBM), найбільш ефективно використовують у шарах основи нежорстких дорожніх одягів для підвищення їх несучої здатності, а також у шарах основи жорстких дорожніх одягів при слабких ґрунтах земляного полотна. Розроблення українських стандартів, які є ідентичними до європейських стандартів щодо HBM, приводить до питань впровадження нових вимог при проектуванні та будівництві автомобільних доріг в Україні. Встановлювані європейськими стандартами вимоги та класифікація HBM забезпечують режим моделювання, який є більш наближеним до експлуатаційних властивостей укріпленого шару дорожнього одягу, та встановлюють більш широкий перелік HBM з різними міцнісними властивостями. Відповідно до цього у даній статті розглядаються аспекти проектування та будівництва дорожніх одягів із шарами HBM, які відрізняються від прийнятої в Україні концепції.

Ключові слова: суміші, укріплені гідравлічним в'язучим; класифікація за показниками механічних властивостей; міцність при стиску; шари основи з сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим.

Аннотация. Смеси, укрепленные гидравлическим вяжущим (hydraulically bound mixtures, HBM), наиболее эффективно используют в основаниях нежестких дорожных одежд для повышения их несущей способности, а также в основаниях жестких дорожных одежд при слабких грунтах земляного полотна. Разработка украинских стандартов, идентичных европейским стандартам относительно HBM, приводит к вопросам внедрения новых требований при проектировании и строительстве автомобильных дорог в Украине. Устанавливаемые европейскими стандартами требования и классификация HBM обеспечивают режим моделирования, более приближенный к эксплуатационным свойствам укре-

пленного слоя дорожной одежды и устанавливают более широкий перечень НВМ с различными прочностными свойствами. В соответствии с этим данной статье рассматриваются аспекты проектирования и строительства дорожных одежд со слоями НВМ, отличающиеся от принятой в Украине концепции.

Ключевые слова: смеси, укрепленные гидравлическим вяжущим; классификация по показателям механических свойств; прочность на сжатие; слои основания из смесей, укрепленных гидравлическим вяжущим.

Abstract. Hydraulically bound mixtures (HBM) are most effectively applied in the base layers of flexible road pavements to enhance their load bearing capacity and also in the base layers of rigid road pavements in the case of weak soils of the sub-grade. The evaluation of Ukrainian standards which are identical to European standards relating HBM leads to the point of subsequent implementation of new requirements through design and construction of motor roads in Ukraine. The by European standards stated requirements and classification of HBM provide a modelling regime closer to the performance of bound pavement layer and give the wider range of HBM designations with different strength properties. Thus, this article reviews such aspects of design and construction of road pavements with HBM layers which are distinguished from the conception approved now in Ukraine. The reviewed clauses on design and construction concern road pavements which, in accordance with the European practice, are classified as flexible pavements or semi-rigid pavements and are comprised of flexible (bitumen-bound) upper layers laid on a HBM base. The reviewed types of road pavement constructions are most eligible to emphasize the possibilities of implementation of new standard requirements in the Ukrainian road building industry.

As it was concluded, the European standards state classification of HBM by compressive strength R_c and classification by tensile strength in combination with elastic modulus R_t , E . These methods of classification are equivalent with no correlation intended between them and have been successfully used during design and construction of road pavement constructions comprised of bitumen-bound layers laid on a HBM base. When designing the motor roads with the above mentioned pavement construction to be loaded with high traffic, HBM of strength classes R_c from $C_{8/10}$ to $C_{9/12}$ shall be contributed where classes of strength are determined by the type of a hydraulic binder and can be accorded to the categories by "R_c, E" values not less than T3 (from T3 to T5).

Keywords: hydraulically bound mixtures, classification by values of mechanical properties, compressive strength, base layers from hydraulically bound mixtures.

Вступ

Розроблення серії національних стандартів, ідентичних до європейських норм, що встановлюють технічні вимоги та методи випробувань сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим, пов'язане з питаннями впровадження положень стандартів при проектуванні та будівництві автомобільних доріг.

Згідно з положеннями чинних національних норм та стандартів суміші, укріплені гідравлічними в'язучими, найбільш ефективно застосовують у шарах основи нежорстких дорожніх одягів із метою підвищення несучої здатності конструкції та забезпечення рівномірного розподілу навантаження від коліс транспортних засобів на земляне полотно, а також при будівництві основ жорстких дорожніх одягів на ґрунтах земляного полотна, здатних до накопичення пластичних або нерівномірних деформацій [1–3].

Водночас система європейських стандартів встановлює технічні вимоги та класифікацію сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим, які надають більш широкі можливості для урахування умов роботи матеріалу в конструкції під час проектування дорожнього одягу, та розширюють можливості застосування матеріалів, укріплених гідравлічним в'язучим.

У зв'язку з викладеним вище, у статті, на підставі досвіду країн ЄС, розглянуто особливості проектування і будівництва конструкцій дорожнього одягу з використанням сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим, відповідно до технічних вимог та класифікації матеріалів згідно з системою європейських стандартів. При формулюванні положень статті розглянуто особли-

вості проектування та будівництва конструкцій дорожнього одягу з нежорстким монолітним покриттям, влаштованим на шарі основи з суміші, укріпленої гідравлічним в'язучим, як такі, що найбільш суттєво виявляють можливості використання положень європейських стандартів із зазначеного напрямку.

Основна частина

Класифікація сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим, відповідно до європейських норм, забезпечує класифікацію зазначених конструкцій як дорожнього одягу нежорсткого типу (*flexible pavement*) [4], або дорожнього одягу напівжорсткого типу (*semi-rigid pavement*) [5].

Класифікація сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим, відповідно до вимог європейських стандартів

Згідно з положеннями розроблюваних стандартів, ідентичних до європейських, до сумішей, укріплених гідравлічним в'язучим (англомовний термін – *HBM, hydraulically bound mixture*), належать суміші стандартного складу на основі природних, штучних (шлаки), а також регенованих дисперсних матеріалів, оброблені мінеральним в'язучим, з переліку:

суміші, укріплені цементом, згідно з [6] (*cement bound granular mixture, CBGM*);

суміші, укріплені гранульованим (також меленим або частково меленим) доменним шлаком, згідно з [7] (*slag bound granular mixture, SBGM*);

суміші, укріплені золою-виносом силікатної або вапняної природи, згідно з [8] (*fly ash bound granular mixture, FABGM*);

суміші, укріплені дорожнім гідравлічним в'язучим нормального або швидкого тверднен-

ня, згідно з [9] (*hydraulic road binder bound granular mixture, HRBBGM*).

Суміші, укріплені гідравлічним в'язучим, класифікують одним із двох стандартних методів: відповідно до значень міцності за стиску R_c , або за показником $R_c E$ [6–9].

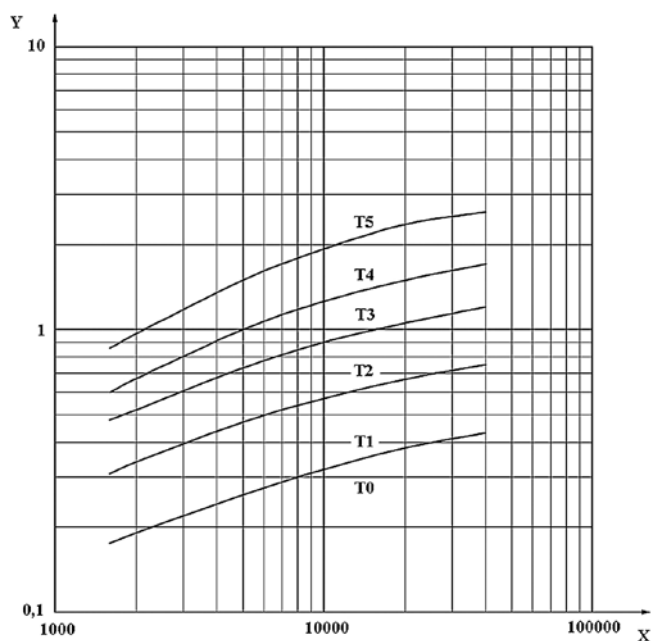
Класифікацію за показником R_c здійснюють відповідно до результатів випробувань з визначення міцності зразків-циліндрів або зразків-кубів при одноосьовому стиску, з урахуванням розмірів зразка. Окремі стандартні класи укріплених матеріалів за міцністю при стиску R_c згідно з [6–9] наведені в **табл. 1**.

Таблиця 1

Класифікація укріплених матеріалів за показником міцності при стиску

Значення R_c для зразків-циліндрів ^a , МПа, не менше ніж	Значення R_c для зразків-циліндрів ^b та зразків-кубів, МПа, не менше ніж	Клас R_c
0,4	0,5	$C_{0,4/0,5}$
...
2,3	3	$C_{2,3/3}$
3	4	$C_{3/4}$
...
8	10	$C_{8/10}$
9	12	$C_{9/12}$
12	16	$C_{12/16}$
15	20	$C_{15/20}$
...
36	48	$C_{36/48}$

^a Відношення висоти зразків-циліндрів H до діаметру D : $H/D=2$.
^b Відношення висоти зразків-циліндрів H до діаметру D : $H/D=1$.



X – міцність при прямому розтягненні R_c , МПа; Y – модуль еластичності E , МПа (див. пояснення табл. 2)

Рис. 1. Класифікація укріплених матеріалів за показником $R_c E$

Другий стандартний спосіб класифікації *HBM* базується на граничних значеннях комплексного показника $R_c E$. Класифікацію за показником $R_c E$ здійснюють відповідно до результатів випробувань з визначення міцності при розтягненні R_t та модуля пружності E , де міцність при розтягненні визначають випробуванням зразків-циліндрів прямим або непрямым розтягненням (розколюванням в торець). Відповідно модуль пружності визначається при випробуванні на стиск або прямим розтягненням, або при непрямому розтягненні. Класифікацію *HBM* за показником $R_c E$ здійснюють відповідно до граничних кривих категорій T1 – T5 (**рис. 1, табл. 2**).

Таблиця 2

Пояснення до класифікації укріплених матеріалів за показником $R_c E$, рисунок 1

E , МПа	2000	5000	10000	20000	40000
Нижня границя категорії	R_c , МПа				
T5	0,97	1,50	1,93	2,35	2,60
T4	0,67	1,00	1,26	1,49	1,70
T3	0,52	0,73	0,90	1,05	1,20
T2	0,34	0,47	0,57	0,67	0,75
T1	0,19	0,26	0,32	0,38	0,43

Примітка. Наведені значення R_c та E використані для створення кривих, що обмежують категорії.

Розглянуті вище стандартні методи класифікації – за показником R_c та за показником $R_c E$ – є рівноцінними. Класифікація *HBM* за показником R_c є більш поширеною, проте класифікація за показником $R_c E$ уможлиблює режим моделювання, більш наближений до експлуатаційних властивостей укріплених матеріалів [10].

Особливості проектування конструкцій дорожнього одягу із застосуванням положень європейських стандартів

Згідно з положеннями європейських стандартів, *HBM* застосовують в конструкціях дорожнього одягу при влаштуванні основ, додаткових основ, а також перекриваючих шарів¹.

Основним етапом життєвого циклу конструкцій дорожнього одягу з верхніми шарами асфаль-

¹ У монографії [11] наведене таке визначення перекриваючого шару (*capping layer*): «Перекриваючим шаром є шар, який влаштовується між земляним полотном та нижнім шаром основи дорожнього одягу при слабких ґрунтах земляного полотна. Призначенням перекриваючого шару є підвищення несучої здатності земляного полотна та підготовка платформи, на якій буде влаштовано конструкцію дорожнього одягу. Перекриваючий шар потребується у більшості випадків, коли каліфорнійський показник несучої здатності (*CBR, California Bearing Ratio*) земляного полотна є нижчим, ніж 5 %, та є обов'язковим, якщо *CBR* < 2,5 %». Перекриваючий шар влаштовують з неукріплених сумішей або з *HBM*.

тобетону, влаштованими на *НВМ*-основі, є етап до руйнування шару основи внаслідок розтріскування, який передбачає, що шар *НВМ* працює як монолітна плита, довжина якої багаторазово перевищує товщину [12]². Розглянуті схеми проектування та особливості влаштування шарів *НВМ* спрямовані на забезпечення безвідмовної роботи конструкції на основному етапі та урахують опір матеріалу основи втомі шляхом використання опосередкованих параметрів (міцність при розтягненні, гранична відносна деформація при розтягненні або інше).

Застосування положень європейських стандартів щодо технічних вимог і класифікації *НВМ* за показником міцності при стиску R_c проаналізовано на прикладі вимог щодо проектування дорожніх одягів напівжорсткого типу (*semi-rigid pavement*) відповідно до каталогу типових конструкцій дорожнього одягу [5], розробленого польськими колегами та введеного в дію 2014 р.; еквівалентне навантаження на вісь згідно з [5] становить 100 кН, розрахунковий строк служби дорожнього одягу – 20 років. Положення каталогу [5] складені з урахуванням вимог європейських стандартів і Директив ЄС, з впровадженням механістико-емпіричного підходу до проектування дорожніх одягів [13].

Термін «*semi-rigid pavement*» згідно з [5, 12, 13] застосовується до типових конструкцій дорожнього одягу, у яких щонайменше один із шарів основи влаштовано з *НВМ*; до цього використовується загальна схема конструкції дорожнього одягу відповідно до **табл. 3**.

Таблиця 3

Загальна схема конструкції дорожнього одягу згідно з [13]

Дорожній одяг	Верхні шари дорожнього одягу	Захисний шар (шар зносу)	
		Зв'язуючий шар	
		Основа	Верхній шар
	Нижній шар		
	Нижні шари дорожнього одягу	Додаткова основа	
Перекриваючий шар ^a			
Земляне по-лотно	Поліпшений (стабілізований) шар		
	Автентичний ґрунт у виїмці або в насипу, певної категорії за несучою здатністю		
^a Згідно з [] виконує також функцію морозозахисного шару.			

Окремі вимоги до типових конструкцій дорожнього одягу напівжорсткого типу з урахуванням таблиці 9.5 [5] наведено в **табл. 4**.

² Наступний етап – за умов вжиття необхідних заходів – може передбачати експлуатацію конструкції дорожнього одягу з використанням шару *НВМ* із переведенням матеріалу в дисперсний стан.

Вимоги до *НВМ* під час їх застосування згідно з **табл. 4**, з урахуванням категорії руху та розташування шару в конструкції дорожнього одягу напівжорсткого типу згідно з [5], наведено в **табл. 5**; також наведено вимоги щодо *НВМ* за умови їх використання в нижніх шарах конструкцій дорожнього одягу напівжорсткого типу.

Відповідно до **табл. 5**, з урахуванням вимог європейських стандартів і сучасної тенденції до зросту транспортних навантажень, у каталозі [5] було встановлено градацію *НВМ* за показником міцності при стиску відповідно до категорії руху, а також відповідно до розташування шару *НВМ* у конструкції дорожнього одягу – на відміну від застосовуваної раніше градації лише за розташуванням шару матеріалу в конструкції [13].

Варто зазначити, що згідно з [5] для влаштування шарів основи використовують суміші виготовлені в установці – виготовлення *НВМ* змішуванням на дорозі застосовують під час влаштування нижніх шарів дорожнього одягу та стабілізованих шарів земляного полотна.

Нижче на прикладі вимог щодо проектування дорожніх одягів нежорсткого типу (*flexible pavement*) [4] розглянуто застосування положень європейських стандартів щодо технічних вимог та класифікації *НВМ* за показником R_c , E ; еквівалентне навантаження на вісь згідно з [4] становить 80 кН. Положення [4] встановлюють конструкцію дорожнього одягу нежорсткого типу як таку, де верхні шари влаштовано з матеріалів, оброблених бітумом, а шар основи влаштовано з матеріалів, оброблених бітумом, або з сумішей, укріплених гідралічним в'язучим. Раніше такі конструкції з *НВМ*-основною класифікувалися як нежорсткий дорожній одяг комбінованого типу (*flexible composite pavement*), конструкції з асфальтобетонною основою – як повністю нежорсткий дорожній одяг (*fully flexible pavement*) [14].

Згідно з оцінкою [15], процедура проектування [4], впроваджена англійськими колегами, є єдиною процедурою, яка базується на необмеженому строку служби дорожнього одягу напівжорсткого типу; процес проектування згідно з [4] фактично пов'язує методики проектування дорожніх одягів нежорсткого та напівжорсткого типів. У статті розглянуто виключно положення [4], які стосуються проектування та будівництва нежорсткого дорожнього одягу на *НВМ*-основі. Положення [4] щодо проектування нежорсткого дорожнього одягу на *НВМ*-основі були розроблені з урахуванням положень технічного звіту [14].

Таблиця 4

Характеристики верхніх шарів типових конструкцій дорожнього одягу напівжорсткого типу згідно з [5, 13]

Параметр		Категорія руху KR						
		KR 1	KR 2	KR 3	KR 4	KR 5	KR 6	KR 7
Товщина шарів асфальтобетону, см	Захисний шар	4	4	4	4	4	4	4
	Зв'язуючий шар	5	7	5	6	8	8	8
	Основа	-	-	6	8	8	10	12
Товщина шару НВМ, см ^а		18	20		22		24	
Проектне значення E ₂ на поверхні нижнього шару, МПа ^б		80		100		120		
Примітка. Категорію руху встановлено відповідно до кількості прикладень розрахункового навантаження N ₁₀₀ : KR 1: 0,03·10 ⁶ < N ₁₀₀ ≤ 0,03·10 ⁶ ; KR 4: 2,50·10 ⁶ < N ₁₀₀ ≤ 7,30·10 ⁶ ; KR 7: N ₁₀₀ > 52·10 ⁶ . KR 2: 0,09·10 ⁶ < N ₁₀₀ ≤ 0,50·10 ⁶ ; KR 5: 7,30·10 ⁶ < N ₁₀₀ ≤ 22·10 ⁶ ; KR 3: 0,50·10 ⁶ < N ₁₀₀ ≤ 2,50·10 ⁶ ; KR 6: 22·10 ⁶ < N ₁₀₀ ≤ 52·10 ⁶ ; ^а Для категорій руху KR 1 та KR 2 шар основи завтовшки 18 см та 20 см відповідно може бути влаштований з ґрунтів, укріплених гідравлічним в'язучим. ^б Модуль деформації при вторинному навантаженні; визначається на поверхні шару додаткової основи або перекриваючого шару, на якому влаштовують шар НВМ.								

Таблиця 5

Окремі вимоги до класу міцності HBM під час проектування типових конструкцій дорожнього одягу напівжорсткого типу згідно з [5]

Матеріал шару дорожнього одягу ^a	Шар дорожнього одягу						
	Основа			Додаткова основа			Морозозахисний шар
	KR 1, KR 2	KR 3, KR 4	KR 5 – KR 7	KR 1, KR 2	KR 3, KR 4	KR 5 – KR 7	KR 1 – KR 4
CBGM	C _{3/4} ≤ 6,0 МПа	C _{5/6} ≤ 10,0 МПа	C _{8/10} ≤ 20,0 МПа	Згідно з [5] не розглядаються	C _{3/4} ≤ 6,0 МПа	C _{5/6} ≤ 10,0 МПа	C _{1,5/2} ≤ 4,0 МПа
SBGM	C _{3/4}	C _{6/8}	-		C _{3/4}	-	C _{1,5/2}
FABGM	C _{3/4} ≤ 8,0 МПа	C _{6/8} ≤ 12,0 МПа	C _{9/12} ≤ 16,0 МПа		C _{3/4} ≤ 12,0 МПа	C _{6/8} ≤ 16,0 МПа	C _{1,5/2} ≤ 4,0 МПа
HRBBGM	C _{3/4} ≤ 8,0 МПа	C _{6/8} ≤ 12,0 МПа	C _{9/12} ≤ 16,0 МПа		C _{3/4} ≤ 12,0 МПа	C _{6/8} ≤ 16,0 МПа	C _{1,5/2} ≤ 4,0 МПа
^a Вимоги національних стандартів Польщі, гармонізовані з європейськими стандартами; для укріплених матеріалів встановлюються також вимоги до типу сумішей, зокрема з урахуванням вимог до гранулометричного складу.							

За умови сумарної кількості прикладень еквівалентного навантаження $N \geq 80$ msa (million single axles) приймається недетерміновано довгий строк служби дорожнього одягу ("long life" pavement) [4]. У такому випадку строк служби, з погляду збереження структурної цілісності конструкції, обмежується номінальною сумарною кількістю прикладень еквівалентного навантаження 400 msa.

Для інших випадків строк служби конструкції дорожнього одягу приймається 40 років або 20 років – залежно від інтенсивності транспортного потоку.

Номограму для проектування дорожнього одягу нежорсткого типу на HBM-основі згідно з [4] наведено на **рис. 2**; **табл. 6** містить пояснення до номограми.

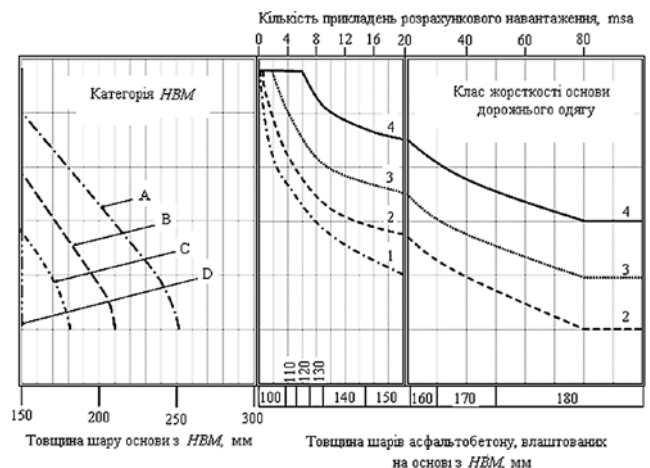


Рис. 2. Номограма для проектування дорожнього одягу нежорсткого типу на HBM-основі згідно з [4]

Таблиця 6

Характеристики HBM відповідно до номограми рисунку 2

Характеристика крупного заповнювача HBM	Категорії HBM за показником R_p, E			
	A	B	C	D
Матеріал подрібнених гірських порід	-	T3	T4	T5
Гравій	T3	T4	T5	-

Примітка. Згідно з даними [4], матеріали подрібнених гірських порід і гравій різняться також коефіцієнтами термічного розширення

Вихідними даними для проектування за номограмою 2 є сумарна кількість прикладень розрахункового навантаження та клас основи за деформаційними характеристиками (жорсткість)³. Товщину шарів асфальтобетону H , у міліметрах, укладених на HBM -основу, розраховують за формулою:

$$H = -16,05 (\log(N))^2 + 101 \times \log(N) + 45,8,$$

де N – сумарна кількість прикладень еквівалентного навантаження, msa .

Вважається, що товщина шарів асфальтобетону 180 мм при $N > 80 msa$ є достатньою для належного відстрочення початку процесу утворення відбитих тріщин за умов влаштування поперечних швів. Також за умови, що всі дефекти покриття усуваються своєчасно, відсутня необхідність збільшення товщини шарів асфальтобетону при збільшенні N понад 80 msa . Такий підхід до проектування базується на результатах моніторингу “long life pavements”, який свідчить, що руйнування, у вигляді тріщин або деформацій, відбуваються переважно в шарі покриття, а не основи [4].

Відповідно до характеристик матеріалів згідно з **табл. 6**, не залежно від вихідних даних для проектування, у типових конструкціях нежорсткого дорожнього одягу [4] на HBM -основі матеріали, укріплені гідравлічним в'язучим, категорії нижче ніж Т3 не використовують.

Відповідно до даних [4], за результатами підбору складу до матеріалів категорії Т3 можуть бути:

³ Згідно з [4] основа підрозділяється на чотири класи (Foundation Classes) за деформаційними характеристиками, які встановлюють згідно з табл. 7.

– $CBGM$, класу за показником міцності при стиску не нижче ніж $C_{8/10}$;

– $SBGM$ або $FABGM$, класу за показником міцності при стиску не нижче ніж $C_{9/12}$.

Згідно з [4], до матеріалів категорії Т4 за результатами підбору складу можуть бути віднесені CBM , SBM , $FABM$ класу за показником міцності при стиску не нижче ніж $C_{12/16}$. До матеріалів категорії Т5 за результатами підбору складу можуть належати $CBGM$, $SBGM$, $FABGM$ класу за показником міцності при стиску не нижче ніж $C_{15/20}$ [4].

За умови підтвердження фактичних деформаційних характеристик HBM -основи методом динамічних штампових випробувань перед влаштуванням покриття ураховують положення **табл. 7**.

Варто зазначити, що розрахункові значення модулів пружності HBM приймаються за такі, що становлять не більше ніж 20 % та не більше ніж 10 % від значення, встановленого під час лабораторних випробувань згідно з [16] для сумішей швидкого та повільного тверднення відповідно; інші розрахункові значення модулів дозволяється приймати лише у підтверджених і задокументованих випадках [16].

Особливості влаштування шарів дорожнього одягу з матеріалів, укріплених гідравлічним в'язучим, з урахуванням європейського досвіду

Основним чинником руйнування розглянутих конструкцій дорожнього одягу є неконтрольоване утворення переважно температурних та усадкових тріщин у шарі основи з HBM , розвиток таких тріщин та утворення відбитих тріщин у шарі покриття. Додатковий негативний вплив

Таблиця 7

Класифікація та деформаційні характеристики основи дорожнього одягу, прийняті під час проектування та будівництва нежорсткого дорожнього одягу на HBM -основі згідно з [4, 16]

Класифікаційне значення ^a		Значення модуля, МПа			
		Клас 1	Клас 2	Клас 3	Клас 4
Максимально допустимі проектні значення		≥ 50	≥ 100	≥ 200	≥ 400
Фактичне середнє значення ^b		≤ 100	≤ 350	≤ 1000	≤ 3500
Фактичне мінімальне значення ^a	HBM швидкого тверднення ^b	50	100	300	600
	HBM повільного тверднення ^c	40	80	150	300
Фактичне мінімальне значення ^a	HBM швидкого тверднення	25	50	150	300
	HBM повільного тверднення	25	50	75	150

^a Еквівалентна жорсткість шаруватого напівпростору.

^b Усереднене значення п'яти послідовних вимірювань методом динамічних штампових випробувань.

^c Укріплені матеріали, які у віці 28 діб при витримці за температури 20 °C досягають міцності при стиску більше ніж 50 % від стандартного значення.

^d Укріплені матеріали, які у віці 28 діб при витримці за температури 20 °C досягають міцності при стиску не менше ніж 50 % від стандартного значення

^e Найменше допустиме значення, яке є граничним та має бути перевищеним при кожному індивідуальному вимірюванні на поверхні основи.

Вимоги до влаштування швів у шарі матеріалу, укріпленого гідравлічним в'язучим, згідно з [5]

Товщина шарів асфальтобетону, укладених на НВМ-основу, см	Відстань між швами, м, відповідно до класу міцності на стиск суміші або ґрунту, укріплених гідравлічним в'язучим		
	$C_{3/4}$	$C_{5/6}$	$C_{8/10}$
> 14	3,0	3,0	3,0
≤ 14	2,5	2,5	2,5

на тріщиноутворення мають заповнювачі з більш високим коефіцієнтом термічного розширення [15]. Цей чинник дає змогу опосередковано зменшувати ризик тріщиноутворення вибором заповнювача; наприклад, згідно з [4], з цього погляду більш ефективним є використання заповнювачів із коефіцієнтом термічного розширення, меншим ніж $10 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Існує низка заходів для запобігання неконтрольованого тріщиноутворення в шарі НВМ та відстроченню початку процесу утворення відбитих тріщин. Найбільш широко впровадженням є контрольована фрагментація шару НВМ шляхом влаштування поздовжніх швів; цей метод передбачено за умови застосування в'язучих швидкого тверднення. Згідно з загальними положеннями [15], поздовжні шви влаштовують у шарі НВМ до тужавлення матеріалу, на відстані від 2 м до 4 м один від одного, після чого виконують ущільнювання поверхні шару НВМ перед влаштуванням шару асфальтобетону. Застосування цементів із низькою міцністю у ранньому віці сприяє розкриттю швів; такий підхід практикується в Австрії [15].

Згідно з [10] поперечні шви влаштовують при очікуваному досягненні матеріалом (НВМ) протягом 7 діб міцності при стиску понад 10 МПа, після попереднього ущільнення шару, через кожних 3 м, на всю ширину, у формі вертикального рівчачку шириною не більше ніж 20 мм, на глибину від 1/2 до 2/3 товщини шару. Такий шов заповнюють бітумним в'язучим і завершують ущільнення шару; після завершення ущільнення повинен утворюватися закритий шов [10].

При проектуванні згідно з [5] контрольований процес фрагментації забезпечують шляхом влаштування швів, у вигляді рівчачку або вирізу, у шарі, укріпленому гідравлічним в'язучим, для конструкцій:

шари основи влаштовані лише з асфальтобетону та укладені на додаткову основу з НВМ;

основу влаштовано з шару асфальтобетону, укладеного на шар НВМ;

основу влаштовано з шару асфальтобетону, укладеного на шар ґрунту, укріпленого гідравлічним в'язучим.

Відповідні вимоги до влаштування швів наведені в **табл. 8**.

Згідно з [5] влаштування швів є типовим рішенням. Для класів міцності НВМ $C_{5/6}$ та $C_{8/10}$ влаштування швів є обов'язковим, для класу міцності $C_{3/4}$ – рекомендованим. Згідно з [5] шви можуть бути влаштовані не тільки у свіжоукла-

деному шарі, а й у шарі затверділого матеріалу, у вигляді вирізів, на глибину, що дорівнює 1/3 товщини шару.

Під час проектування згідно з [4] для конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на НВМ-основі типу "*long-life pavement*" для запобігання утворенню поздовжніх тріщин ширину шару НВМ обмежують значенням 4,75 м. Для конструкцій, відрізняючись від "*long-life pavement*", емпіричним шляхом встановлена інша схема руйнування НВМ-основи, тому обмеження за шириною шару не встановлюють.

Для уповільнення руйнування шару СВМ із використанням цементу повільного тверднення застосовують також технологічну операцію штучного утворення мікротріщин у матеріалі – виконують вібраційне ущільнення через (12–24) год після завершення ущільнення шару [15]. Розробниками [5] метод штучного утворення мікротріщин оцінюється негативно у зв'язку з неконтрольованістю процесу та високим ризиком втрати несучої здатності основи, та як типове рішення не розглядається.

Альтернативним способом зниження ризику утворення температурних та усадкових тріщин у шарі укріпленого матеріалу є використання гідравлічних в'язучих повільного тверднення, цементів із малою теплою гідратації тощо. Зниження ризику утворення тріщин та відстрочення цього процесу досягається також використанням кількості в'язучого, мінімально необхідної для забезпечення вимог до НВМ [15].

Поширеним заходом для запобігання утворенню відбитих тріщин є влаштування прошарку між покриттям та основою у вигляді мембранного шару SAM (*stress absorbing membrane*), тріщиноперериваючого прошарку або геосинтетичних матеріалів [15].

Також важливим конструктивним рішенням для запобігання утворенню відбитих тріщин є встановлення певної товщини шару асфальтобетону. В різних схемах проектування ці вимоги

варіюються та встановлюються як мінімальна товщина асфальтобетонного шару або як відношення товщини шарів асфальтобетону до товщини шару *HBM*-основи – наприклад, згідно з даними [15] це відношення становить 0,7.

Застосування положень європейських стандартів [6–9] також надає змогу проектування та влаштування шарів дорожнього одягу з *HBM* із відкриттям руху транспорту безпосередньо після влаштування шару. У такому разі контроль матеріалів і робіт здійснюють за показником несучої здатності після ущільнення (*IBI*, *immediate bearing index*), який визначають згідно з [17]. Значення *IBI* під час запланованого відкриття руху транспорту безпосередньо після влаштування шару згідно з [6–9] повинне становити не менше ніж 40; належне значення *IBI* за необхідності забезпечують коригуванням гранулометричного складу *HBM* [6–9]. Водночас варто враховувати, що *HBM* на основі в'язучих, за винятком цементу, характеризуються уповільненим набиранням міцності та, навіть за умови забезпечення належних значень *IBI* та відкриття руху транспорту в ранньому віці, потребують захисту від замерзання [4].

Висновки

Використання *HBM* відповідно до вимог європейських стандартів передбачає дотримання зазначених нижче положень.

1. Склад та умови виготовлення зразків *HBM*, відповідно до вимог європейських стандартів, забезпечують отримання укріплених матеріалів двадцяти класів міцності при стиску R_c , де матеріал найбільш високого класу характеризується міцністю при стиску зразків-кубів не менше ніж 48 МПа.

2. Поряд з класифікацією укріплених матеріалів за міцністю при стиску положення європейських стандартів встановлюють іншу систему класифікації *HBM*, за комплексним показником $R_t E$, відповідно до результатів випробувань із визначання міцності при розтягненні R_t та модуля пружності E . Класифікацію укріплених матеріалів за показником $R_t E$ здійснюють відповідно до граничних кривих залежності R_t від E та підрозділяють на п'ять категорій від T1 до T5. Зазначені методи класифікації *HBM* є рівноцінними; кореляцію або припущення щодо існування кореляції між цими методами не передбачено.

3. Під час проектування та будівництва конструкцій дорожнього одягу з шарами асфальтобетону, укладеними на *HBM*-основу, з використанням положень європейських стандартів, застосовують обидва методи класифікації *HBM*.

Класифікація за показником R_c є більш поширеною, проте класифікація за показником $R_t E$ уможливорює режим моделювання, більш наближений до експлуатаційних властивостей укріплених матеріалів. Під час проектування та будівництва доріг із високим рівнем транспортних навантажень із зазначеною конструкцією дорожнього одягу у шарах основи використовують *HBM* класу міцності на стиск $C_{8/10} - C_{9/12}$, залежності від виду гідралічного в'язучого, що відповідає міцності при стиску зразків-кубів не менше ніж 10/12 МПа та класу за показником $R_t E$ не нижче ніж T3.

4. Будівництво конструкцій дорожнього одягу зазначеного типу передбачає технологічні заходи з відстрочення неконтрольованого тріщиноутворення в шарах *HBM*-основи переважно шляхом влаштування поперечних швів на глибину від 1/3 до 1/2 товщини шару з рекомендованим інтервалом 3 м.

5. Вимоги європейських стандартів надають змогу проектування та влаштування шарів дорожнього одягу з *HBM* із відкриттям руху транспорту безпосередньо після влаштування шару. Відповідні властивості матеріалу та якості влаштування укріпленого шару в такому разі визначаються показником несучої здатності після ущільнення, який регулюється коригуванням гранулометричного складу суміші.

Література

1. Будівельні матеріали. Матеріали щелебеві, гравійні та піщані, оброблені неорганічними в'язучими. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-207:2009. – Київ, 2011. – 10 с. – (Інформація та документація).
2. Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування : ГБН В.2.3-37641918-557:2016. – Київ, 2016. – 74 с. – (Інформація та документація).
3. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування : ГБН В.2.3-37641918-559:2019. – Київ, 2019. – 62 с. – (Інформація та документація).
4. Design Manual for Roads and Bridges, Volume 7: Pavement Design and Maintenance, Section 2: Pavement Design and Construction, Part 3, HD 26/06, Pavement Design, 2006. – Режим доступу: <http://gov.uk/guidance/standards-for-highways-online-resources> (дата звернення 08.06.2018 р.)
5. Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Załącznik do Zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r., opracowany w Katedrze Drogowej Politechniki Gdańskiej. – Режим доступу: https://www.gddkia.gov.pl/frontend/web/userfiles/articles/d/dokumenty-techniczne_8162/KTKNPiP.pdf (дата звернення 22.08.2019 р.)
6. EN 14227-1:2013 Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 1: Cement bound granular mixtures. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000. – Brussels, 2013. – 28 p.
7. EN 14227-2:2013 Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 2: Slag bound granular mixtures. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000. – Brussels, 2013. – 35 p.
8. EN 14227-3:2013 Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 3: Fly ash bound granular mixtures. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000. – Brussels, 2013. – 35 p.

9. EN 14227-5:2013 Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 5: Hydraulic road binder bound granular mixtures. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000. – Brussels, 2013. – 28 p.
10. Manual of Contract Documents for Highway Works Series 0800 and Notes for Guidance – Road Pavements – Unbound, Cement and other Hydraulically Bound Mixtures // Рік та номер публікації на сайті Європейської комісії: 2015/100/UK. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search> (дата звернення 08.06.2018 р.)
11. Nikolaides, A. Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality // A. Nikolaides – CRC, Boca Raton London New York, 2014. – ISBN-13: 978-1-1665-7997-2. – P. 473–479. – Режим доступу: <https://booksgoogle.com.ua/book?ISbn=1466579978> (дата звернення 16.05.2018 р.).
12. Pełczyńska, K., Gajewski, M. Review of selected fatigue criteria for hydraulic bound layers in road pavements // Drogi i Mosty. – 2018. – № 17. – P. 227–248. – Режим доступу: <http://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v17n3p227/475> (дата звернення 22.12.2018 р.).
13. Judycki, J., Jaskuła, P., Pszczoła, M., Ryś, D., Jaczewski, M., Alenowicz, J., Dołżycki, B., and Stienss, M. New Polish catalogue of typical flexible and semi-rigid pavements // MATEC Web of Conferences 122, 04002 (2017), GAMBIT 2016. – Режим доступу: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/36/mateconf_gambit2017_04002.pdf (дата звернення 30.08.2019 р.).
14. Nunn, M. Development of a more versatile approach to flexible and flexible composite pavement design // TRL Report TRL615. – Highway Agency, 2004. – Режим доступу: <https://trl.co.uk/sites/default/files/TRL615%281%29.pdf> (дата звернення 09.08.2019 р.).
15. Making Best Use of Long-Life Pavements in Europe. ELLPAG PHASE 2: A Guide to the Use of Long-Life Semi-Rigid Pavements, FEHRL Report 2009/01. – Режим доступу: http://www.aapaq.org/q/2012st/doc/REF/U09_FEHRL_ELLPAG_Report_Phase_2.pdf (Дата звернення 29.08.2019 р.).
16. Interim advice note 73/06 Revision 1. – Design guidance for road pavement foundations, 2009. – Режим доступу: <http://gov.uk/guidance/standards-for-highways-online-resources> (Дата звернення 08.06.2018 р.).⁴
17. EN 13286-47:2012 Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 47: Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000. – Brussels, 2012. – 16 p.

References

1. State Standard of Ukraine. (2011). Budivěl'ni materialy. Materialy shchebenevi, hraviyni ta pishchani, obrobeni neorhanichnymy v'yazhuchymy. Tekhnichni umovy: DSTU B V.2.7-207:2009. [Building materials. Crushed stone, gravel and sand materials treated by hydraulic binders. Specifications: DSTU B V.2.7-207:2009]. Kyiv, 10, Information and documentation. [In Ukrainian]
2. Industry Building Codes. (2016). Avtomobil'ni dorohy. Dorozhniy odyah zhorstkyy. Proektuvannya: GBN V.2.3-37641918-557:2016. [Motor roads. Rigid pavements. Design: GBN V.2.3-37641918-557:2016]. Kyiv, 74, Information and documentation. [In Ukrainian]
3. Industry Building Codes. (2019). Avtomobil'ni dorohy. Dorozhniy odyah nezhorstkyy. Proektuvannya: GBN V.2.3-37641918-559:2019. [Motor roads. Flexible pavements. Design: GBN V.2.3-37641918-559:2019]. Kyiv, 62, Information and documentation. [In Ukrainian]
4. Standards for Highways. (2006). Design Manual for Roads and Bridges, Volume 7: Pavement Design and Maintenance, Section 2: Pavement Design and Construction, Part 3, HD 26/06, Pavement Design. Retrieved on June 08, 2018, from <http://gov.uk/guidance/standards-for-highways-online-resources>.
5. Katedrze Drogowej Politechniki Gdańskiej. (June 06, 2014). Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Załącznik do Zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych

- i Autostrad. Retrieved on August 22, 2019, from https://www.gddkia.gov.pl/frontend/web/userfiles/articles/d/dokumenty-techniczne_8162/KTKNPiP.pdf.
6. National Standards Authority of Ireland. (2013). EN 14227-1:2013 Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 1: Cement bound granular mixtures. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000, Brussels, 28.
7. European Standard. (2013). EN 14227-2:2013 Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 2: Slag bound granular mixtures. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels, 35.
8. European Standard. (2013). EN 14227-3:2013 Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 3: Fly ash bound granular mixtures. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels, 35.
9. European Standard. (2013). EN 14227-5:2013 Hydraulically bound mixtures – Specifications – Part 5: Hydraulic road binder bound granular mixtures. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels, 28.
10. Manual of Contract Documents for Highway Works Series 0800 and Notes for Guidance – Road Pavements – Unbound, Cement and other Hydraulically Bound Mixtures // Рік та номер публікації на сайті Європейської комісії: 2015/100/UK. Retrieved on June 08, 2018, from <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search>.
11. Nikolaides, A. (2014). Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality. CRC, Boca Raton London, New York, 473–479. Retrieved on May 16, 2018, from <https://booksgoogle.com.ua/book?ISbn=1466579978>.
12. Pełczyńska, K., Gajewski, M. (2018). Review of selected fatigue criteria for hydraulic bound layers in road pavements. Drogi i Mosty, 2018, 17, 227–248. Retrieved on December 22, 2018, from <http://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v17n3p227/475>.
13. Judycki, J., Jaskuła, P., Pszczoła, M., Ryś, D., Jaczewski, M., Alenowicz, J., Dołżycki, B., and Stienss, M. (2017). New Polish catalogue of typical flexible and semi-rigid pavements. MATEC Web of Conferences 122, 04002, GAMBIT 2016. Retrieved on August 30, 2019, from https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/36/mateconf_gambit2017_04002.pdf.
14. Nunn, M. (2004). Development of a more versatile approach to flexible and flexible composite pavement design. Prepared for Highway Agency, TRL Report TRL615. Retrieved on August 09, 2019, from <https://trl.co.uk/sites/default/files/TRL615%281%29.pdf>.
15. FEHRL Report 2009/01. (2009). Making Best Use of Long-Life Pavements in Europe. ELLPAG PHASE 2: A Guide to the Use of Long-Life Semi-Rigid Pavements. Retrieved on August 29, 2019, from http://www.aapaq.org/q/2012st/doc/REF/U09_FEHRL_ELLPAG_Report_Phase_2.pdf.
16. Interim advice note 73/06 Revision 1. (2009). Design guidance for road pavement foundations. Retrieved on June 08, 2018, from <http://gov.uk/guidance/standards-for-highways-online-resources>.⁵
17. European Standard. (2012). EN 13286-47:2012 Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 47: Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling. European Committee for Standardization. Avenue Marnix 17, B-1000. Brussels, 16.

4 Станом на час звернення використовується заміну “Design Manual for Roads and Bridges, Volume 7: Pavement Design and Maintenance, Section 2: Pavement Design and Construction, Part 2”.

5 On the date of access supersedes “Design Manual for Roads and Bridges, Volume 7: Pavement Design and Maintenance, Section 2: Pavement Design and Construction, Part 2”.