https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.172

УДК 625.7/.8

Терещенко Т. А., *канд. хім. наук, https://orcid.org/0000-0001-5206-9921*

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

ЗАСТОСУВАННЯ «КОНЦЕПЦІЇ ФУНДАМЕНТУ» В ПРОЄКТУВАННІ ТА ВЛАШТУВАННІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація

Вступ. У вступі до статті висвітлено переваги «концепції фундаменту», що ґрунтується на інтерпретації дорожнього одягу як конструкції, що складається з двох основних елементів, які проєктуються та влаштовуються послідовно: несної основи дорожнього одягу – «*pavement foundation*» та власне конструкції дорожнього одягу – «*pavement construction*». Реалізація цієї концепції уможливлює проєктування й влаштування т. зв. «*long-life pavement*» – дорожнього одягу зі строком служби відповідно до 400 млн стандартних навантажень на вісь транспортного засобу [2], з застосуванням сумішей, укріплених гідравлічним в'яжучим, або *HBM*.

Проблематика. Тематика статті стосується проблем імплементації вимог європейських стандартів у вітчизняні системи проєктування дорожнього одягу.

Мета. Метою статті є аналіз основних положень «концепції фундаменту» та її можливостей у застосуванні вимог європейських стандартів стосовно дорожньо-будівельних матеріалів для удосконалення чинних систем проєктування дорожнього одягу.

Результати. Розглянуто класифікацію несних основ дорожнього одягу, яка базується на значеннях *FSM* (*long-term confined foundation surface modulus*) і охоплює чотири класи *FC* (*foundation class*): *FC*1 – *FSM* ≥ 50 МПа; *FC*2 – *FSM* ≥ 100 МПа; *FC*3 – *FSM* ≥ 200 МПа; *FC*4 – *FSM* ≥ 400 МПа. Відповідно до такої класифікації розглянуто та порівняно дві методології проєктування несної основи дорожнього одягу, що базуються на обмежених процедурах проєктування або на паритетних процедурах проєктування.

Розглянуто елементи несної основи дорожнього одягу: ґрунтову основу, перекриваючий шар і несний шар із визначенням їх функціональності й параметрів, які потребують нормування та/або контролювання на етапах проєктування та будування. Викладено особливості проєктування і влаштування кожного з елементів несної основи.

Також розглянуто проєктування конструкції дорожнього одягу на підставі її визначення як такої, що складається з основного шару, зв'язуючого шару та верхнього шару, і яку проєктують за «композитним типом» чи виключно з бітумовмисних матеріалів.

Висновки. Рівень адаптації системи національних стандартів щодо вимог, методів підготовки зразків та випробувань дорожніх матеріалів, зокрема *HBM*, до вимог європейського рівня відповідає поточному рівню готовності до промислового впровадження та ураховує впровадження стандартів *ENTSO-E*, проте виникають питання щодо адаптації вітчизняної системи проєктування дорожнього одягу до таких вимог.

Особливої уваги потребує питання співвіднесення існуючих розрахункових схем проєктування дорожнього одягу з розрахунковими характеристиками дорожньо-будівельних матеріалів, прийнятих європейськими стандартами. Розглянута система проєктування дорожнього одягу, зокрема з можливістю проєктування конструкції «композитного типу», є однією з пропозицій щодо пошуку відповідних конструктивних рішень.

Ключові слова: дорожній одяг, конструкція дорожнього одягу, несна основа дорожнього одягу, обмежена процедура проєктування, паритетна процедура проєктування.

Вступ

У зв'язку з очікуваним впровадженням в Україні завершеного комплексу регіональних стандартів Європейського Союзу постає актуальність співвіднесення положень системи проєктування дорожнього одягу з вимогами європейських норм щодо дорожньо-будівельних матеріалів та споріднених з ними стандартів. З урахуванням таких вимог може виникнути щонайменше потреба в адаптації систем проєктування дорожнього одягу до стандартної класифікації матеріалів, раніше не застосовуваної у вітчизняній практиці дорожнього будівництва.

Відповідно до цього пропонується загальний аналіз системи проєктування дорожнього одягу, яка передбачає певну послідовність дій з визначання строків служби конструкції, вибору матеріалів, визначання параметрів елементів конструкції, аналізування конструкції та виконання відповідних розрахунків і базується на «концепції фундаменту».

Згідно з концепцією, що розглядається, в складі дорожнього одягу проєктується та влаштовується конструктивний елемент «*pavement foundation*» та власне конструкція дорожнього одягу – «*pavement construction*» [1, 2]. Відповідна система проєктування супроводжується раціональною практикою будівництва з мінімізацією процедур оцінювання відповідності проєктним вимогам у процесі виконання робіт.

Зазначена система проєктування застосовується, зокрема, для реалізації концепції «*long-life pavement*» – дорожнього одягу, проєктний строк служби якого відповідає кількості навантажень, еквівалентної 400 млн стандартних навантажень на вісь транспортного засобу; обов'язковим елементом таких конструкцій є шари, влаштовані з матеріалів, укріплених гідравлічним в'яжучим (*HBM, Hydraulically Bound Mixtures*).

У вітчизняній галузі дорожнього будівництва впроваджено стандарти, ідентичні європейським нормам стосовно вимог до *HBM*; також фахівцями ДП «ДерждорНДІ» завершується розроблення стандартів з ідентичним ступенем відповідності щодо методів виготовлення зразків і випробування *HBM*. Доцільно підкреслити, що за окремими показниками механічних властивостей *HBM* можуть бути прирівняні до бетонів, зокрема до укочених бетонів – так, нормоване мінімально необхідне значення міцності на стиск *HBM* високої марки, не залежно від типу гідравлічного в'яжучого, становить 48 МПа. Поряд з цим на даний час залишаються не вирішеними питання адаптації вимог у частині характеристик *HBM* до прийнятих в Україні систем проєктування дорожнього одягу.

Далі розглянуто засади системи проєктування, яка значною мірою ураховує вимоги європейських норм.

Параметри, терміни та класифікація, застосовувані згідно з «концепцією фундаменту»

Елемент дорожнього одягу «*pavement foundation*», у розглянутій його інтерпретації, складається з ґрунтової основи, улаштованої з ґрунтів природного залягання або привозних ґрунтів, та одного або – переважно – двох послідовно влаштованих на ґрунтовій основі шарів, що виконують різні функції, з урахуванням яких у цій статті запропоновано наступні терміни для англомовних відповідників згідно з [2, 3]: *pavement foundation* – несна основа дорожнього одягу (далі – несна основа); елементи несної основи: *subgrade* – ґрунтова основа; *capping layer* – перекриваючий шар[1]; *subbase* – несний шар. Згідно з [2] приймається, що ґрунтова основа певної товщини міститься на масиві з модулем жорсткості 10 000 МПа.

[1] Застосування «концепції фундаменту» в проєктуванні дорожнього одягу передбачає загальні підходи, прийняті для інших типів споруд, зокрема споруд цивільного будівництва [3]. Термінологічні відповідники та визначення понять у системи національних стандартів для термінів, застосованих у цій статті згідно з [1 – 3], відсутні. Потрібно додати, що в статті розглянуто – з можливістю порівняння – положення щодо проєктування несної основи дорожнього одягу згідно з двома послідовними редакціями одного документа – *Design Manual for Roads and Bridges* авторства британських колег, проте не достатньо інформації, щоб визначити, наскільки повно – беручи до уваги геополітичні зміни (*Brexit*) – у сучасній редакції ураховано вимоги системи стандартів Європейського Союзу.

Згідно з [2] пропонується наступне визначення: «Перекриваючий шар – шар підсилення, який улаштовують на ґрунтовій основі для захисту ґрунтової основи від руйнування та/або підвищення жорсткості розташованих вище несного шару та конструкції дорожнього одягу». Згідно з публікованими раніше даними перекриваючий шар улаштовують переважно в випадках, коли каліфорнійський показник несної здатності (*CBR, California Bearing Ratio*) ґрунтів є нижчим, ніж 5 %. У системі національних стандартів поняття «перекриваючий шар» застосовано в серії ДСТУ EN 14227.

У межах «концепції фундаменту» для елементу *capping layer* виконуються проєктні розрахунки, тому в складі несної основи, відповідно до запропонованої термінології, перекриваючий шар з функціональної точки зору може бути визначений як додатковий несний шар.

Відповідно до кількості шарів, що проєктуються та влаштовуються на ґрунтовій основі, конструкція несної основи розглядається як одно- або двохшарова. Шари несної основи можуть бути влаштовані з неукріплених матеріалів чи з *HBM* – у окремих випадках з застосуванням ґрунтів – залежно від вихідних даних проєктування та класу несної основи.

Несна основа виконує «традиційні» функції перерозподілу навантажень від коліс транспортних засобів і має забезпечувати захист від деформацій і руйнування власне несної основи і розташованих вище шарів конструкції дорожнього одягу під час будування та експлуатування автомобільних доріг. Несна основа розглядається як еквівалентний напівпростір, деформаційні характеристики якого представлені проєктним значенням модуля (*long-term confined foundation surface modulus*, *FSM* – величина (за значенням модуля жорсткості), потрібне значення якої забезпечується на поверхні несної основи «в замкненому просторі», після влаштування конструкції дорожнього одягу).

В [1 – 3] установлено класифікацію несних основ за чотирма класами (*Foundation Class, FC*), які характеризуються певними значеннями *FSM*. *FC*1 (*FSM* ≥ 50 МПа) і *FC*2 (*FSM* ≥ 100 МПа) приймаються для проєктування та будівництва автомобільних доріг з відносно низькою інтенсивністю руху транспортних засобів, за сумарної кількості прикладень еквівалентного навантаження $N \leq 20$ *msa* та $N \leq 80$ *msa* відповідно[2]. *FC*3 (*FSM* ≥ 200 МПа) та *FC*4 (*FSM* ≥ 400 МПа) приймаються для доріг високих категорій, з високою інтенсивністю руху, у тому числі як складова проєктування та влаштування дорожнього одягу за концепцією «*long-life pavement*».

До окремих деформаційних характеристик несної основи чи її елементів, які приймаються до розрахунку і підлягають нормуванню та, в окремих випадках, контролюванню з метою оцінювання відповідності проєктним вимогам, відносяться:

– *design subgrade surface modulus* (проєктний модуль на поверхні ґрунтової основи) – розрахунковий модуль жорсткості, прийнятий у цілях проєктування несної основи;

– *layer stiffness* (жорсткість шару) – модуль жорсткості, прийнятий для виокремленого шару, визначається з урахуванням умов експлуатування, а також деградації матеріалу шару;

– *stiffness modulus* (модуль жорсткості) – відношення напруження до спричиненої цим напруженням деформації[3];

– *surface modulus* (модуль, що визначається на поверхні) – модуль жорсткості, виведений за результатами прикладення відомого навантаження до поверхні шару.

---

[2] *Msa – million single axles*, кількість еквівалентів розрахункового навантаження на вісь транспортного засобу, виражена у мільйонах одиниць (10^6), яке, згідно з [2, 3], становить 80 кН.

[3] Варіант перекладу англомовного відповідника «*stiffness modulus*» як «модуль жорсткості», прийнятий у цій статті, за технічним змістом та визначенням поняття не є відповідником цього терміна згідно з [4], проте, якщо урахувати, що поняття «жорсткість» описується критеріями закону Гука в таких видах деформування, як одноосьове стискання – розтягнення та зсув, - є цілком коректним.

Згідно з [3] прийнятими є також величини, значення яких визначають на поверхні несної основи у процесі будування: *target stiffness modulus* – «цільовий» модуль жорсткості, значення якого є оцінним, та *minimum stiffness modulus* – мінімальний модуль жорсткості, значення якого повинне бути перевищеним за результатами кожного окремого вимірювання, – характеризується також як абсолютне мінімальне значення.

У процесі влаштування дорожнього одягу, запроєктованого згідно з «концепцією фундаменту», одним з ключових параметрів є значення модуля на поверхні несної основи, визначене перед улаштуванням шарів конструкції дорожнього одягу; аналогічні випробування можуть виконуватися також на проміжних етапах улаштування елементів несної основи – наприклад, з метою оперативного вирішення питань оцінювання відповідності конструкції проєктним вимогам або визначання потенційного чинника невідповідності.

Вибір методологій проєктування згідно з «концепцією фундаменту»

«Концепція фундаменту» є застосовною у разі проєктування і влаштування несної основи за методологіями, які суттєво різняться за передумовами проєктування та, в сукупності, ураховує потенційно широкий діапазон варіювання вихідних даних. На вибір методології проєктування, поряд з суто технічними вихідними даними, мають вплив економічні чинники – наявність дорожньо-будівельних матеріалів та відповідні цінові аспекти; в окремих випадках має значення масштабність проєкту.

До методологій проєктування, що базуються на «концепції фундаменту», віднесено процедури «*performance foundation design*» та «*restricted foundation design*» [2].

Застосування методології «*restricted foundation design*», або обмеженої процедури проєктування несної основи, ґрунтується на обмеженій кількості схем та передбачає обмеженість даних щодо характеристик застосовуваних матеріалів і, певною мірою, даних щодо конструкції, тобто базується на певних прийнятих параметрах без їх верифікації. Така методологія характеризується як консервативна та охоплює *FC*2 і *FC*3, а також *FC*1 – за винятком магістральних доріг; обмежена процедура проєктування не є рекомендованою для масштабних проєктів. Потрібно додати, що згідно з обмеженою процедурою проєктування в окремих випадках не дозволяється застосування, наприклад, регенерованих дорожньо-будівельних матеріалів; також може бути не рекомендованим застосування матеріалів, щодо яких недостатньо досвіду [2, 3].

За обмеженою процедурою проєктування враховують загальні рекомендації щодо вибору матеріалів для влаштування перекриваючих шарів: для *FC*1 це є переважно дисперсні, неукріплені матеріали, для *FC*2 вимоги до перекриваючого шару залежать від того, з яких матеріалів улаштовують несний шар – з неукріплених сумішей чи з *HBM*; останні мають відноситися до класів міцності $C_{3/4}$ або $C_{5/6}$. Проєктування *FC*3 в цілому здійснюють з урахуванням вимог до *HBM* переважно класу міцності не менше ніж $C_{8/10}$, проте, згідно з [2], можуть застосовуватися матеріали нижчих класів міцності у разі влаштування двошарової конструкції з певними вимогами до перекриваючого шару.

Методологія «*performance foundation design*» – проєктування несної основи з верифікацією параметрів конструкції та характеристик матеріалів, що є критичними для забезпечення проєктних показників – може бути охарактеризована як паритетна процедура проєктування. Паритетна процедура проєктування охоплює всі класи несної основи та забезпечує значно більші – порівняно з обмеженою процедурою – можливості вибору матеріалів з метою оптимізації конструкції.

Згідно з [3] для паритетної процедури проєктування були установлені обмеження певних параметрів. Так, для *FC*1 і *FC*2 мінімально допустима товщина шарів, що влаштовуються на ґрунтовій основі – не залежно від матеріалу, що застосовується, та функції шару – становить 150 мм, для *FC*3 – 175 мм (згідно з [2] – 180 мм), для *FC*4 – 200 мм. Зазначалося [3], що чинником такої градації обмежень є застосування в шарах несної основи більш високих

класів матеріалів з більш високими показниками міцності, більш жорстких, з підвищеною здатністю до тріщиноутворення – у випадку застосування укріплених матеріалів, та більш чутливих до варіації товщини шару. Також, з метою запобігання проєктуванню надто тонких і потенційно неоднорідних за міцністю шарів було рекомендовано установлювати обмеження за максимальними значеннями модуля шару залежно від класу основи: *FC*1 – 100 МПа; *FC*2 – 350 МПа; *FC*3 – 1 000 МПа; *FC*4 – 3 500 МПа; важливо, що це правило поширювалося також на проєктування за обмеженою процедурою.

Характеристики матеріалів, залежно від класу й конструкції несної основи, установлені для паритетної процедури проєктування згідно з [2], наведено в **табл. 1**.

Таблиця 1

Розрахункові параметри для проєктування елементів несної основи за паритетною процедурою проєктування

Клас несної основи	Конструкція несної основи	Модуль шару, МПа
1	Одношарова	50; 75
2	Одношарова	120; 150; 350
3	Одношарова	350; 500; 1 000
4	Одношарова	1 000; 2 000; 4 000
2	Несний шар, улаштований на перекриваючому шарі	Несний шар – 75 Перекриваючий шар – 120; 150; 350
3	Несний шар, улаштований на перекриваючому шарі	Несний шар – 75 Перекриваючий шар – 350; 500; 1 000
4	Несний шар, улаштований на перекриваючому шарі	Несний шар – 75 Перекриваючий шар – 1 000; 2 000; 4 000

Обмеження за мінімальною товщиною шарів, улаштованих на ґрунтовій основі, за паритетною процедурою проєктування згідно з [2] окремо не наводяться, проте беручи до уваги приклади відповідних графічних схем проєктування, можна дійти висновку, що такі обмеження залежать від класу несної основи, показників міцності матеріалів і від конструкції несної основи – одно- або двохшарова, та в наведених графічних схемах варіюються від 150 мм до 200 мм.

Особливості проєктування та влаштування елементів несної основи

Нижче проаналізовано окремі особливості проєктування та влаштування ґрунтової основи, перекриваючого й несного шарів із застосуванням різних матеріалів.

Вихідною точкою проєктування є визначання характеристик ґрунтів та підтвердження виконання мінімально необхідних вимог, які, згідно з [3], установлюють відповідно до значення *CBR* – підкреслюється, що *CBR* є опосередкованим критерієм оцінювання міцності ґрунтової основи (модуля жорсткості *E*) й застосовується у зв'язку зі складністю надійного та послідовного визначання фактичного значення модуля на поверхні ґрунтової основи. У [2, 3] наведено рівняння *by Powell*, яке приймають для обчислення значення модуля *E,* у мегапаскалях, ґрунтової основи на підставі результатів визначання *CBR* (1):

$$E = 17{,}6 \cdot CBR^{0{,}64}, \quad (1)$$

де *CBR* – каліфорнійський показник несної здатності, у відсотках.

Розробники [1] зазначають, що рівняння *Powell* виведено для ґрунтів зі значенням *CBR* у межах від 2 % до 15 %; згідно з [2] рівняння (1) є дійсним за значень *CBR* від 2 % до 12 %.

За проєктний модуль на поверхні ґрунтової основи приймається модуль, значення якого є меншим за порівнянням таких двох величин:

– *short-term subgrade surface modulus* («короткостроковий» модуль на поверхні ґрунтової основи) – розрахунковий модуль жорсткості, що приймається для ґрунтової основи в процесі будівництва;

– *long-term subgrade surface modulus* («довгостроковий» модуль на поверхні ґрунтової основи) – розрахунковий модуль жорсткості ґрунтової основи, що приймається за умов досягнення рівноваги, після влаштування дорожнього одягу.

Невірне призначення розрахункового модуля жорсткості на поверхні ґрунтової основи є одним з потенційних чинників невідповідності несної основи проєктним вимогам.

У **табл. 2** наведено окремі значення *CBR* у стані рівноваги – такі, що відповідають високому рівню ґрунтових вод, прийняті згідно з [3].

Таблиця 2

Значення CBR ґрунтової основи в стані рівноваги

Тип ґрунту	*PI* (індекс пластичності), %	неглибоке залягання ґрунтової основи	глибоке залягання ґрунтової основи
		Розрахункові значення *CBR*, %	
Важкі глини (*heavy clay*)	70	2	2
	60	2	2
	50	2	2,5
	40	2,5	3
Суглинки (*silty clay*)	30	3	4
Супіски (*sandy clay*)	20	4	5
	10	5	6
Примітка 1. Глибоке залягання ґрунтової основи передбачає масивну конструкцію, за відстані до поверхні дорожнього одягу 1 200 мм, неглибоке залягання приймається за такої відстані 300 мм.			

Для визначання міцнісних характеристик ґрунтової основи *in-sity* може бути застосований стандартний метод динамічного зондування.

У разі, якщо *CBR* не перевищує 2,5 %, може потребуватися заміна ґрунтів, яку, за відповідної товщини шару «слабкого» ґрунту, виконують на глибину від 0,5 м до 1,0 м, з урахуванням ущільнення. Згідно з [3], у разі заміни слабких ґрунтів – не залежно від характеристик завезених ґрунтів – значення *CBR* приймають як таке, що дорівнює 2,5 % з метою урахування можливого зниження міцності внаслідок впливу розташованого нижче шару більш слабких ґрунтів. Згідно з [2] у разі заміни ґрунтів, механічної стабілізації з застосуванням геграток (геотекстилю), стабілізації ґрунтів приймаються більш високі розрахункові значення міцності (модуля) ґрунтової основи.

У випадках, коли фактичне значення модуля на поверхні влаштованої ґрунтової основи (*construction subgrade surface modulus*) вказує на невідповідність проєктним вимогам, вживають заходів на об’єкті або коригують проєктні розрахунки.

У частині вимог до ґрунтової основи, у разі застосування паритетної процедури проєктування, установлено обмеження за деформаціями на поверхні, які підлягають контролюванню перед улаштуванням шарів несної основи; відповідну залежність наведено на **рис. 1**.

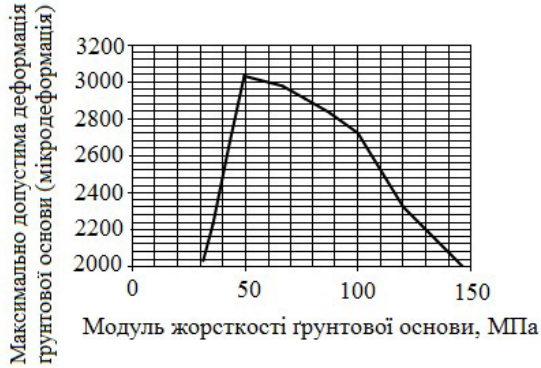

Рисунок 1 – Обмеження за деформаціями ґрунтової основи згідно з [2, 3]

У разі застосування паритетної процедури проєктування величиною, значення якої підлягає верифікації, є жорсткість шару неукріпленої суміші – не залежно від функції шару в складі несної основи. Для неукріплених сумішей значення модуля може бути оцінено за результатами вимірювання на пробній ділянці об'єкту, проте такі умови випробування не дозволяють забезпечувати вимірювання за умов всебічного стискання – значення модуля характеризується як отримане за умов «псевдовсебічного» стискання (*partially confined value*) і для неукріплених сумішей становить орієнтовно 60 % від значення, яке забезпечується після завершення влаштування дорожнього одягу. До недоліків відповідних лабораторних методів випробування неукріплених сумішей відносять вплив на результати випробування розміру зразків та вплив субстратів, якими обмежено зразок.

Окремими положеннями регулюється установлення значень модуля жорсткості для матеріалів, укріплених гідравлічним в'яжучим. Згідно з [3] пропонується виходити із значень, отриманих за результатами випробування зразків *HBM* з визначання міцності під час стискання аналогічно до вимог [5].

При цьому доцільно прийняти, що зразки *HBM*, виготовлені в лабораторії, мають суцільну непорушену структуру, проте на об'єкті *HBM*, ущільнені в шарі конструкції, характеризуються певним рівнем дефектності та неоднорідності (неоднорідність за густиною, наявність мікротріщин). Тому для *HBM* на основі в'яжучих швидкого тверднення рекомендоване значення модуля жорсткості має бути не більшим ніж 20 % від визначеного за результатами лабораторних випробувань, а для *HBM* на основі в'яжучих повільного тверднення, згідно з [3] – не більше ніж 10 % від визначеного значення[4], – *HBM* на основі в'яжучих повільного тверднення внаслідок тривалого набирання міцності здатні до утворення дефектів не тільки під час проїзду технологічного транспорту, але й на початкових етапах експлуатації. За наявності задокументованих даних, з відповідним узгодженням, можуть бути прийняті інші значення модулів.

У разі визначання модуля на поверхні несної основи *FC*3, *FC*4 з верхнім шаром *HBM* на основі в'яжучих швидкого тверднення мінімально необхідне значення «цільового» модуля жорсткості доцільно приймати більшим за значення *FSM*, оскільки набирання міцності відбувається швидко, проте обсяг та розмір різних дефектів з початком експлуатації конструкції збільшуються, що призводить до зниження міцнісних характеристик. У разі визначання модуля несної основи на поверхні шару *HBM* з в'яжучими повільного тверднення мінімально необхідне значення «цільового» модуля жорсткості доцільно приймати меншим ніж значення *FSM*. Значення мінімального модуля

[4] У даному випадку до сумішей швидкого тверднення віднесено суміші, укріплені гідравлічним в'яжучим, для яких за умови витримування за температури 20 °С впродовж 28 діб забезпечується міцність понад 50 % від проєктного значення; до сумішей повільного тверднення – суміші, для яких за вказаних умов забезпечується міцність 50 % або менше від проєктного значення.

жорсткості варіюється, згідно з [2], від 25 МПа у разі вимірювання на поверхні шару неукріплених сумішей до 300 МПа у разі вимірювання на поверхні шару *HBM*, укріплених в'яжучим швидкого тверднення.

Значення вказаних величин у разі нормування встановлюють суто емпіричним шляхом на підставі задокументованого досвіду; в процесі удосконалення системи проєктування дорожнього одягу внормовані значення цих величин підлягають коригуванню, або такі величини можуть бути замінені іншими характеристиками [3].

Як зазначено в [2], дотримання нормованих допусків за товщиною несного шару, влаштованого з *HBM*, у випадках, де дозволено від'ємний відхил, може призвести до суттєвого зменшення товщини такого шару відносно проєктного значення, що унеможливить забезпечення потрібних значень модулів на поверхні несної основи; з урахуванням цього в проєктній документації може бути встановлено від'ємні відхили такими, що дорівнюють нулю, або належним чином підвищено товщину шару відносно розрахункової. У разі підвищення товщини шару потрібно враховувати технологічні обмеження.

Також важливо, що елементи (шари) несної основи мають бути запроєктовані та влаштовані таким чином, щоб забезпечувати вимоги щодо здатності витримувати рух технологічного транспорту, яка, наприклад, для шару неукріплених матеріалів може контролюватися за результатами прикладання навантаження, еквівалентного 1 000 стандартних навантажень на вісь [2, 3].

Застосування графічних схем проєктування дорожнього одягу згідно з «концепцією фундаменту»

Як було зазначено вище, згідно з розглянутою концепцією на несній основі дорожнього одягу («*pavement foundation*») влаштовується власне конструкція дорожнього одягу («*pavement construction*»), для елементів якої в цій статті запропоновано наступні терміни для англомовних відповідників згідно з [6]: *base course* – основний шар; *binder course* – зв'язуючий шар; *surface course* – верхній шар (у окремих випадках несний шар основи може розглядатися як складова конструкції дорожнього одягу).

Згідно з [6] два ключові завдання – проєктування несної основи та проєктування конструкції дорожнього одягу відповідно до проєктного класу несної основи – пропонується вирішувати, зокрема, з використанням графічних схем проєктування.

Графічні схеми проєктування шарів несної основи ґрунтуються на вихідних даних щодо класу несної основи, розрахункових значень модулів ґрунтової основи, характеристик матеріалу шару (дисперсні матеріали або *HBM*), а також залежать від рекомендацій щодо конструкції несної основи – одно- або двохшарова.

На **рис. 2** наведено приклад графічної схеми проєктування несної основи для випадку, що передбачає проєктування одного – несного – шару.

Матеріали для влаштування шарів обираються згідно з положеннями *Specification for Highway Works* (Технічних умов на виконання дорожніх робіт) у складі [7] – для прикладу згідно з **рис. 2** ці матеріали належать до стандартних сумішей (кам'яних матеріалів або ґрунтів), укріплених цементом, у випадку ґрунтів дозволені також інші види гідравлічних в'яжучих.

На **рис. 3** наведено приклад графічної схеми проєктування несної основи двохшарової конструкції.

Матеріали для влаштування шарів несної основи за паритетною процедурою (**рис. 3**) також обираються з урахуванням [7], з верифікацією характеристик матеріалів кожного шару.

На **рис. 4** наведено графічні схеми проєктування конструкції дорожнього одягу за різних класів несної основи, для різних типів конструкції дорожнього одягу з верхнім шаром, улаштованим з бітумовмисних матеріалів: т. зв. «композитного типу», що влаштовується на *HBM*-основі, і конструкції дорожнього одягу, всі шари якої є бітумовмисними.

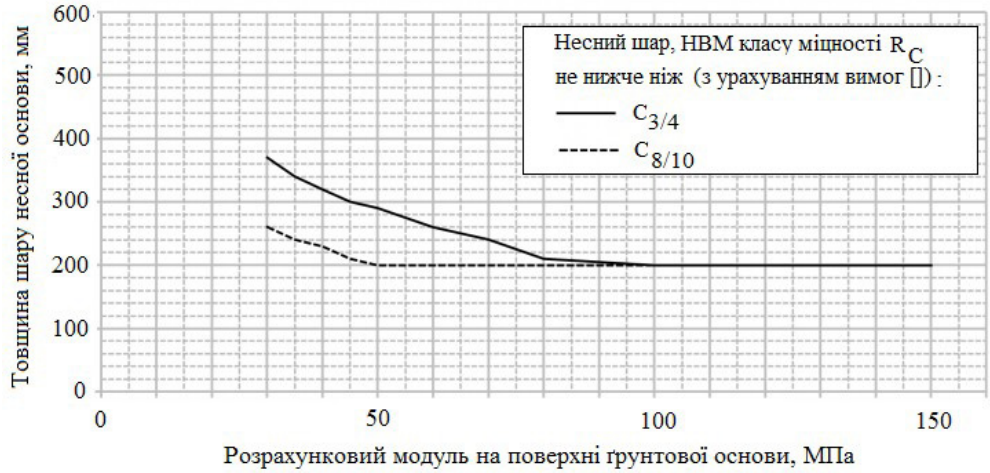

Рисунок 2 – Проєктні рішення *FC*3 згідно з обмеженою процедурою проєктування для одношарової конструкції несної основи (несний шар, улаштований на ґрунтовій основі)

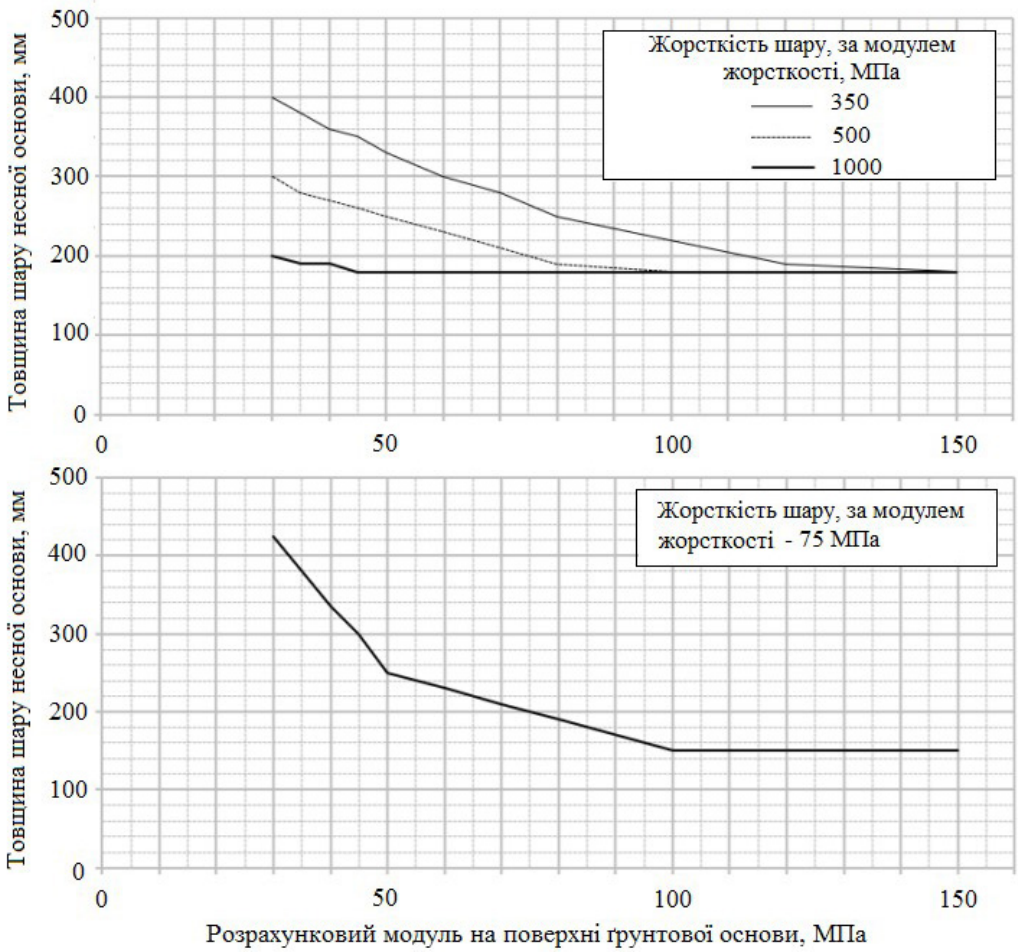

Рисунок 3 – Проєктні рішення *FC*3 згідно з паритетною процедурою проєктування для двохшарової конструкції несної основи (перекриваючий шар та несний шар, послідовно влаштовані на ґрунтовій основі)

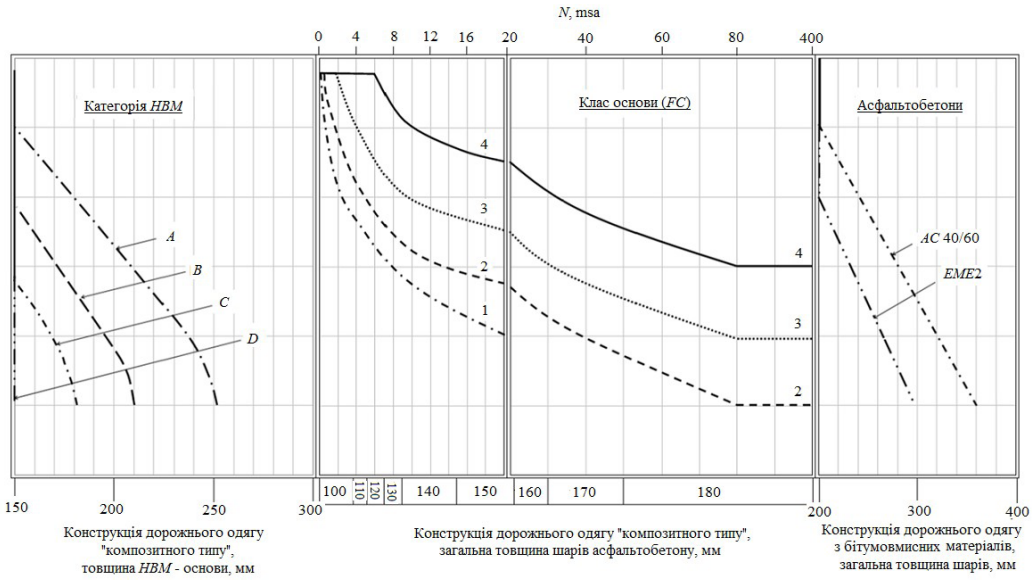

Рисунок 4 – Графічна схема (номограма) проєктування конструкцій дорожнього одягу різних типів з верхнім шаром (шарами) з бітумовмисних матеріалів

Середня та ліва частини номограми (**рис. 4**) застосовуються для виведення загальної товщини бітумовмисних шарів конструкції дорожнього одягу за певної товщини *HBM*–основи. Також загальну товщину бітумовмисних шарів *H*, у міліметрах, для цього випадку може бути обчислено за рівнянням (2):

$$H = 16{,}05 \cdot (\log(N))^2 + 101 \cdot \log(N) + 45{,}8, \quad (2)$$

де *N* – кількість еквівалентів розрахункового навантаження на вісь транспортного засобу, виражена у мільйонах одиниць (*msa*).

Проте, оскільки існують певні вимоги щодо округлення розрахункової товщини шарів, зручно користуватися номограмою.

У правій частині **рис. 4** наведено номограму для виведення загальної товщини шарів конструкції дорожнього одягу з бітумовмисних матеріалів (більш детальну інформацію щодо *EME*2 наведено в [8]); поряд із цим, у [6] наведено також інформацію щодо застосування в зв'язуючому шарі щебенево-мастикового асфальтобетону.

Категоризація *HBM* відповідно до лівої частини **рис. 4** здійснюється з урахуванням стандартної класифікації *HBM* за значенням показника R_tE, де R_t – міцність на розтяг, *E* – модуль пружності *HBM*; з категоризацією відповідно до **рис. 4** можна ознайомитися в першоджерелі [2].

Поряд з цим, впроваджено графічні схеми проєктування конструкції дорожнього одягу з жорсткими (цементобетонними) шарами, де для випадку нового будівництва застосовують *FC*3 або *FC*4 [6] (не розглядається в зв'язку з обмеженнями щодо обсягу матеріалів).

Окремо потрібно зазначити, що розглянутий підхід до проєктування надає можливість призначати товщину шару, влаштованого з *HBM,* відповідно до розмірів стандартних зразків для випробування і поряд з цим ураховує стандартну класифікацію та характеристики *HBM*, раніше не застосовувані в прийнятих на національних теренах схемах проєктування дорожнього одягу. Згідно з серією EN 14227 та ідентичного ступеня відповідності ДСТУ EN 14227 щодо вимог до *HBM* визначання класу міцності *HBM* з застосуванням зразків-циліндрів (у тому числі підготовлених з

кернів, відібраних з конструкції) передбачає установлення кореляції в разі використання зразків, для яких відношення висоти до діаметра (т.зв. «коефіцієнт гнучкості») відрізняється від стандартної величини 1 або 2. Проте виведення такої кореляції потребує певного досвіду використання *HBM* з певним масивом даних, який уможливлює статистичну обробку. Потрібно визнати, що в Україні на даний час такий досвід, а радше потрібний обсяг бази даних стосовно виготовлення та застосування матеріалів згідно з EN 14227 відсутній, тому доцільно розглядати всі підходи до проєктування та влаштування дорожнього одягу з застосуванням *HBM*, які потенційно спрямовані на вирішення питань підтвердження якості матеріалів та робіт за достатньо складних умов переходу на європейські практики в галузі дорожнього будівництва.

Висновки

У статті запропоновано інтерпретацію дорожнього одягу як конструкції, що складається з несної основи дорожнього одягу – «*pavement foundation*» та власне конструкції дорожнього одягу – «*pavement construction*» і розглянуто загальні основні положення системи проєктування та влаштування дорожнього одягу на засадах такої концепції.

Згідно з проаналізованими першоджерелами зазначена концепція, або «концепція фундаменту», реалізується в проєктуванні інших видів споруд, зокрема споруд цивільного будівництва, і поряд з цим дозволяє ефективно реалізувати концепцію «*long-life pavement*» – проєктування та будівництва дорожнього одягу зі строком служби відповідно до 400 млн стандартних навантажень на вісь транспортного засобу.

У реалізації концепції «*long-life pavement*» незамінним дорожньо-будівельним матеріалом є суміші, укріплені гідравлічним в'яжучим, або *HBM*. Рівень адаптації системи національних стандартів щодо вимог, методів виготовлення зразків та випробування дорожньо-будівельних матеріалів, зокрема *HBM*, до вимог європейського рівня з урахуванням впровадження в Україні стандартів *ENTSO-E*, забезпечений фахівцями ДП «ДерждорНДІ», не поступається ступеню готовності до впровадження таких матеріалів у промислове виробництво, проте постають питання адаптації вітчизняних систем проєктування дорожнього одягу до цих вимог.

Система проєктування дорожнього одягу, загальні положення якої розглянуто в статті, зокрема з можливістю проєктування та влаштування конструкції дорожнього одягу «композитного типу», є однією з пропозицій пошуку відповідних проєктних рішень.

Особливої уваги потребує питання співвіднесення існуючих розрахункових схем проєктування дорожнього одягу з впроваджуваною стандартною класифікацією та розрахунковими характеристиками дорожньо-будівельних матеріалів, зокрема *HBM* – як це було окреслено в роботі [9].

Не виключено, що економічно доцільним рішенням, зі сприянням швидкому відновленню і розбудові вітчизняної дорожньої інфраструктури, буде імплементація, «імпорт» вибраних систем проєктування дорожнього одягу, особливо для потреб нового будівництва, за інтенсивної співпраці з іноземними колегами на всіх шаблях.

Список літератури

1. Chaddock, B., Roberts, C. Road foundation design for major UK highways. Version 1.0. Published project report 127 (PPR 127, formally UPR IE 028/06). 2006. 46 p. URL: https://www.trl.co.uk/publications/ppr127 (дата звернення: 05.04.2023).

2. Design Manual for Roads and Bridges. Pavement design. CD 225: Design for new pavement foundation (formerly IAN 73/06, revision 1 (2009), HD 25/94). Revision 1. 2020. 49 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (дата звернення: 25.05.2023).

3. Design Manual for Roads and Bridges. Interim advice note 73/06 Revision 1 (2009) Design guidance for road pavement foundations. 2009. 62 p. URL: http://origin.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/ians/pdfs/ian73.pdf (дата звернення: 30.05.2023).

4. ДСТУ ISO 80000-4:2016 Величини та одиниці. Частина 4. Механіка (ISO 80000-4:2006, IDT). Київ, 2016. 26 с. (Інформація та документація).

5. EN 14227-43:2003 Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 43: Test method for the determination of the modulus of elasticity of hydraulically bound mixtures. European Committee for Standardization. Rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels, 2003. 12 p. (Інформація та документація).

6. Design Manual for Roads and Bridges. Pavement design. CD 226, Version 0.1.0: Design for new pavement construction (formerly HD 26/06). 2021. 94 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (дата звернення: 25.05.2023).

7. Manual of contract documents for highway works. Volume 1. Specification for highway works. Series 800 Road pavements – Unbound, cement and other hydraulically bound mixtures. 2021. 42 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (дата звернення: 06.06.2023).

8. Manual of contract documents for highway works. Volume 1. Specification for highway works. Series 900 Road pavements – Bituminous bound materials. 2021. 89 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (дата звернення: 06.06.2023).

9. Терещенко Т.А., Ілляш С.І. Методи випробування сумішей, укріплених гідравлічним в'яжучим, відповідно до вимог європейських стандартів. *Автошляховик України*. 2022, № 3. С. 36–42.

References

1. Chaddock B., Roberts C. Road foundation design for major UK highways. Version 1.0. Published project report 127 (PPR 127, formally UPR IE 028/06). 2006. 46 p. URL: https://www.trl.co.uk/publications/ppr127 (Last accessed 05.04.2023) [in English].

2. Design Manual for Roads and Bridges. Pavement design. CD 225: Design for new pavement foundation (formerly IAN 73/06, revision 1 (2009), HD 25/94). Revision 1. 2020. 49 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (Last accessed 25.05.2023 p.) [in English].

3. Design Manual for Roads and Bridges. Interim advice note 73/06 Revision 1 (2009) Design guidance for road pavement foundations. 2009. 62 p. URL: http://origin.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/ians/pdfs/ian73.pdf (Last accessed 30.05.2023) [in English].

4. DSTU ISO 80000-4:2016 Velychyny ta odynytsi. Chastyna 4. Mekhanika (ISO 80000-4:2006, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU ISO 80000-4:2016) Quantities and units. Part 4 – Mechanics (ISO 80000-4:2006, IDT)]. Kyiv, 2016. 26 p. (Information and documentation) [in Ukrainian]

5. EN 14227-43:2003 Unbound and hydraulically bound mixtures – Part 43: Test method for the determination of the modulus of elasticity of hydraulically bound mixtures. European Committee for Standardization. Rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels, 2003. 12 p. (Information and documentation) [in English].

6. Design Manual for Roads and Bridges. Pavement design. CD 226, Version 0.1.0: Design for new pavement construction (formerly HD 26/06). 2021. 94 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (Last accessed 25.05.2023) [in English].

7. Manual of contract documents for highway works. Volume 1. Specification for highway works. Series 800 Road pavements – Unbound, cement and other hydraulically bound mixtures. 2021. 42 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (дата останнього звернення 06.06.2023 р.) [in English].

8. Manual of contract documents for highway works. Volume 1. Specification for highway works. Series 900 Road pavements – Bituminous bound materials. 2021. 89 p. URL: https://standardsforhighways.co.uk (Last accessed 06.06.2023) [in English].

9. Tereshchenko T.A., Illiash S.I. Metody vyprobuvannia sumishei, ukriplenykh hidravlichnym

viazhuchym, vidpovidno do vymoh yevropeiskykh standartiv [Methods for testing hydraulically bound mixtures in accordance with the European norms]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. 2022, № 3. P. 36–42 [in Ukrainian].

Tetiana Tereshchenko, *Ph. D., https://orcid.org/0000-0001-5206-9921*
M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

APPLICATION OF THE «FOUNDATION CONCEPT» FOR THE ROAD PAVEMENT DESIGN AND CONSTRUCTION

Introduction. The introduction to the paper highlights the advantages of the «foundation concept» based on the interpretation of a pavement as the construction comprising the two main consecutively designed and constructed elements: the pavement foundation and the pavement construction itself. The realization of that concept allows the design and construction of so-called long-life pavements according up to 400 msa using hydraulically bound mixtures [2], or HBM.

Problem Statement. The issues of the paper concern the problems of implementation of the European standards related requirements into native systems for road pavements designing.

Purpose. The goal of the paper is to analyze the main provisions of the «foundation concept» and its possibilities in the application of the European standards requirements concerning road materials for the improvement of current systems for road pavements design.

Results. The classification of the road pavement foundations was reviewed which is based on the long-term confined foundation surface modulus (FSM) values and comprises four classes (FC): *FC*1 – *FSM* ≥ 50 MPa; *FC*2 – *FSM* ≥ 100 MPa; *FC*3 – *FSM* ≥ 200 MPa; *FC*4 – *FSM* ≥ 400 MPa. According such classification, the two methodologies for the pavement foundation design were briefly reviewed and compared: the restricted foundation design and the performance foundation design.

The elements of a road pavement foundation were considered: subgrade, capping layer and base layer, giving definitions of their functionality and parameters to be approved and/or checked during designing and construction stages. The peculiarities of the designing and construction each of the elements of the pavement foundation were stated.

Further, the pavement construction design was reviewed where this construction has been accepted as comprising the base course, binder course and surface course and is to be designed as a «composite type» or comprehending the bituminous materials only.

Conclusions. The level of adaptation of the system of national standards regarding the technical specifications, methods of specimen preparation and testing of road materials, especially HBM, to the requirements of the European level corresponds to the current degree of readiness for the industrial implementation and takes into consideration the implementation of *ENTSO-E* standards, however, questions arise about the adaptation of the native system of road pavement designing to such requirements.

The peculiar attention should be paid to the correlation of current chart schemes for road pavement construction design with the design characteristics of road materials approved in the European standards. The considered road pavement design system, in particular with the possibility of designing a «composite type» pavement construction, is one of the suggestions for finding appropriate constructive solutions.

Keywords: road pavement, road pavement foundation, road pavement construction, restricted foundation design, performance foundation design.