

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до звіту про виконання роботи

на тему «Оцінка можливості застосування брущатки бетонної в якості матеріалу покриття міських вулиць і доріг»

Можливість застосування брущатки бетонної в якості матеріалу покриття міських вулиць і доріг¹ оцінювалась за результатами випробування експериментальних конструкцій дорожнього одягу на кільцевому стенді (рисунок 1). За допомогою цього стенду існує можливість створення умов, максимально наближених до умов роботи дорожнього одягу на автомобільній дорозі (дія транспорту та кліматичних факторів). Транспортне навантаження на дорожній одяг створюють за допомогою електромобілів, які здатні передавати розрахункові навантаження, що передбачені програмою випробувань.

Програмою випробувань брущатки бетонної, як матеріалу покриття міських вулиць і доріг, передбачені наступні параметри.

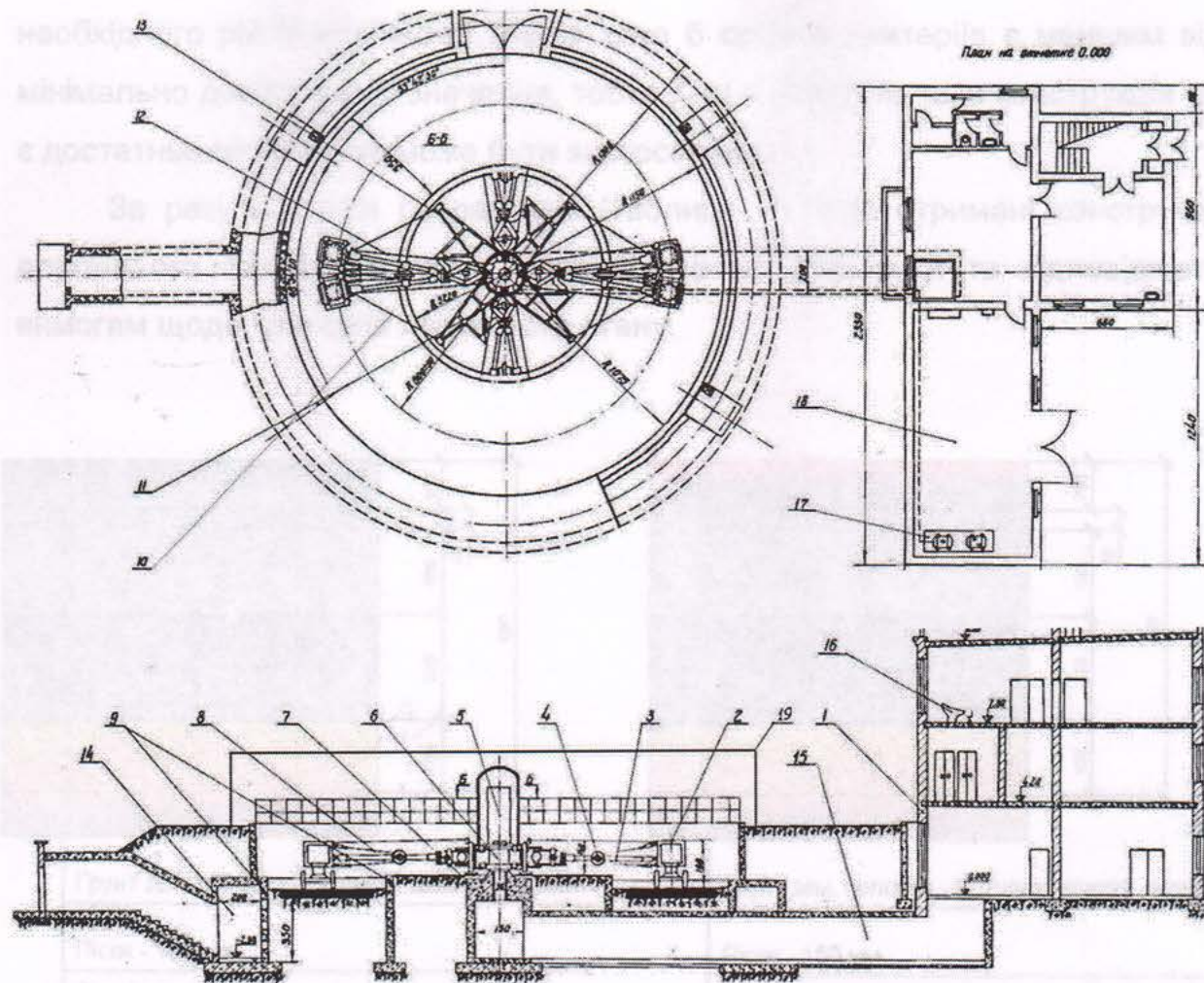
Найменування параметра	Значення параметра
Розрахункове навантаження	група А ₃ (100 кН/на вісь) ²
Кількість прикладань розрахункового навантаження	20 000 (5 000 обертів стенду)
Покриття експериментальних конструкцій дорожнього одягу:	брущатка бетонна «Тригран» брущатка бетонна «Кирпич» брущатка бетонна «Подвійне Т»

Випробування виконати в характерні періоди року: літній; осінньо-зимовий; весняний.

Встановити переваги і недоліки покриття із брущатки бетонної, в порівнянні з еталоном. За еталон прийнята конструкція з покриттям із асфальтобетону.

¹ Норми проектування міських вулиць і доріг встановлені ДБН В.2.3-5 [1].

² Вимоги ДБН В.2.3-4 [2].



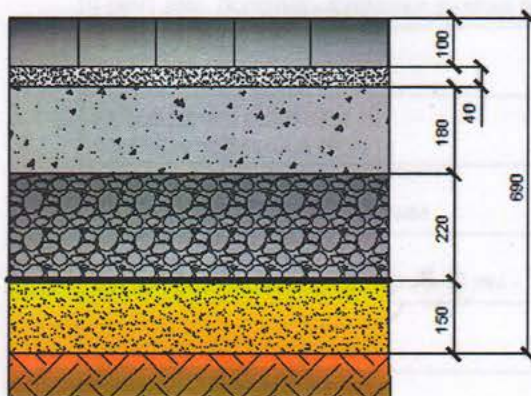
1 – службове приміщення; 2 – електромобіль; 3 – трубчатая тяга; 4 – барабан; 5 – контактна колона; 6 – осьова труба; 7 – центральна опора; 8 – троси для регулювання; 9 – стіни корпусу; 10 – троси для страхування; 11 – шарнірний чотирьохелементний регульовальний пристрій; 12 – аварійний трос; 13 – ферма; 14 – підземна галерея; 15 – кабельний канал; 16 – пульт управління; 17 – частотні перетворювачі

Рисунок 1 – Схема випробувального стенду

Для проведення випробувань на кільцевому стенді, за встановленими Програмою випробувань параметрами, були запроектовані експериментальні конструкції дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної «Тригран»; «Кирпич»; «Подвійне Т» та асфальтобетону (рисунки 2÷5). Конструкція дорожнього одягу є міцною, якщо коефіцієнт міцності Кмц за кожним із критеріїв (розрахунковий), більший чи дорівнює мінімально допустимому (нормованому) [Кмц], знайденому з урахуванням

необхідного рівня надійності. Якщо хоча б один із критеріїв є меншим від мінімально допустимого значення, тобто $K_{мц} < [K_{мц}]$, то така конструкція не є достатньо міцною і не може бути застосована.

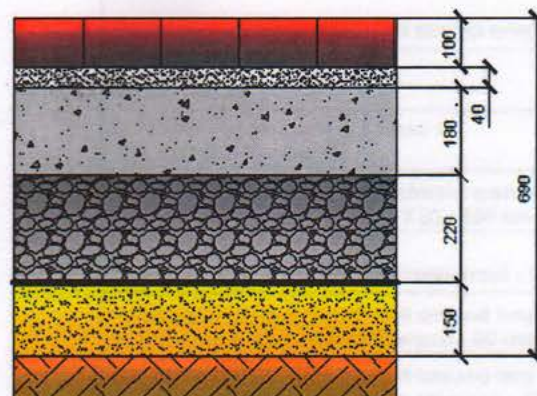
За результатами розрахунків (таблиця 1) були отримані конструкції дорожнього одягу, які мають близькі міцнісні показники та відповідають вимогам щодо критеріїв граничного стану.



Грунт зем. полотна - супинок важкий пилуватий
Пісок - 150 мм
Розділяючий прошарок із геосинтетичного матеріалу
Щебінь фр. 40-70 мм - 220 мм
Щебенево-піщана суміш фр. 0-40 мм - 180 мм
Відсів фр. 0-5 мм - 40 мм
Брущатка бетонна (подвійне Т) - 100 мм

Рисунок 2 – Конструкція № 1.

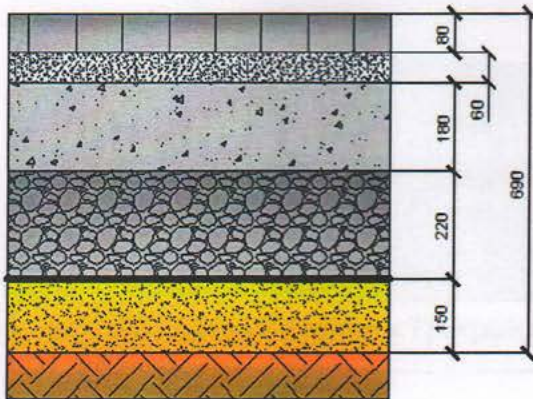
Конструкція дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної
«Подвійне Т»



Грунт зем. полотна - супинок важкий пилуватий
Пісок - 150 мм
Розділяючий прошарок із геосинтетичного матеріалу
Щебінь фр. 40-70 мм - 220 мм
Щебенево-піщана суміш фр. 0-40 мм - 180 мм
Відсів фр. 0-5 мм - 40 мм
Брущатка бетонна (кирпич) - 100 мм

Рисунок 3 – Конструкція № 2.

Конструкція дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної
«Кирпич»



Грунт зем. полотно - суглинок важкий пілуватий

Пісок - 150 мм

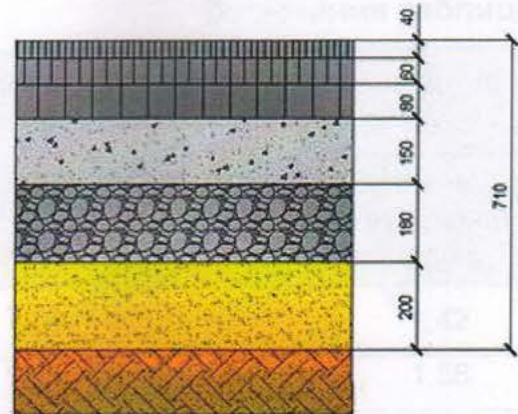
Розділяючий прошарок із
геосинтетичного матеріалу

Щебінь фр. 40-70 мм - 220 мм

Щебенево-піщана суміш фр. 0-40 мм - 180 мм

Відсів фр. 0-5 мм - 60 мм

Брущатка бетонна (тригран) - 80 мм



Грунт зем. полотно - суглинок важкий пілуватий

Пісок - 200 мм

Щебенево-піщана суміш С-5 згідно з
ДСТУ Б В 2.7-30 - 180 мм

Щебенево-піщана суміш С-7, укріплена цементом,
марки М 20 згідно з ДСТУ Б В 2.7-30 - 150 мм

Асфальтобетон пористий, крупнозернистий - 80 мм

Асфальтобетон дрібнозернистий щільний типу Б (Б-20)
на бітумі, модифікованому полімером - 60 мм

Асфальтобетон дрібнозернистий щільний типу Б (Б-10)
на бітумі БНД 60/90 з адгезійною добавкою - 40 мм

Рисунок 4 – Конструкція № 3.

Конструкція дорожнього одягу з
покриттям із брущатки бетонної
«Тригран»

Рисунок 5 – Конструкція № 4.

Конструкція дорожнього одягу з
покриттям із асфальтобетону

Таблиця 1 – Результати розрахунку експериментальних конструкцій
дорожнього одягу

№ поз.	Матеріал покриття	Коефіцієнт запасу міцності, Кмц, за критерієм граничного стану		
		пружний прогин	згин монолітних шарів	зсув незв'язних шарів
1	Брущатка бетонна «Подвійне Т»	1,92	-"	1,59
2	Брущатка бетонна «Кирпич»	1,90	-"	1,56

Закінчення таблиці 1

№ поз.	Матеріал покриття	Коефіцієнт запасу міцності, Кмц, за критерієм граничного стану		
		пружний прогин	згин монолітних шарів	зсув незв'язних шарів
3	Бруківка бетонна «Тригран»	1,73	-"	1,42
4	Асфальтобетон	1,75	1,37	1,58
Мінімальне допустиме значення коефіцієнту запасу міцності [Кмц]		1,33	1,29	1,4
Примітка. Оскільки, покриття експериментальних конструкцій дорожнього одягу влаштоване із бруківки бетонної (що не є монолітним матеріалом), то розрахунок конструкції за критерієм міцності розтягу при згині не виконується.				

За результатами випробувань на кільцевому стенді були встановлені міцнісні та транспортно-експлуатаційні показники експериментальних конструкцій дорожнього одягу (таблиця 2), які дозволяють виконати оцінювання можливості застосування бруківки бетонної в якості матеріалу покриття міських вулиць і доріг.

Таблиця 2 – Міцнісні та транспортно-експлуатаційні показники експериментальних конструкцій дорожнього одягу

№ поз.	Найменування показника	Значення показника	
		за результатами випробувань	нормативні вимоги
1	Загальний модуль пружності конструкції дорожнього одягу з покриттям, МПа*:		не менше ніж 190 (-")
	бруківка бетонна «Подвійне Т»	236 (141)	
	бруківка бетонна «Кирпич»	200 (142)	
	бруківка бетонна «Тригран»	198 (118)	
	асфальтобетон	269 (148)	

Закінчення таблиці 2

№ поз.	Найменування показника	Значення показника	
		за результатами випробувань	нормативні вимоги
2	Коефіцієнт зчеплення шини з поверхнею покриття**: бруківка бетонна «Подвійне Т» бруківка бетонна «Кирпич» бруківка бетонна «Тригран» асфальтобетон	 0,333 0,428 0,435 0,475	 не менше ніж 0,3 (0,35/0,45)
3	Параметри поперечного профілю дорожнього покриття (глибина колії), мм: бруківка бетонна «Подвійне Т» бруківка бетонна «Кирпич» бруківка бетонна «Тригран» асфальтобетон	 3÷5 3÷5 3÷5 від 7,5 до 12	 не більше ніж 20
4	Строк експлуатації дорожнього одягу з покриттям, років: бруківка бетонна асфальтобетон	 "-" "-"	 15 8-11

Примітка. * В дужках наведені значення загального модуля пружності конструкції дорожнього одягу при статичному навантаженні, без дужок – значення модуля пружності при динамічному навантаженні³.

** В дужках наведені значення коефіцієнта зчеплення для утруднених та небезпечних умов руху відповідно⁴.

³ Згідно вимог ГН В.2.3-37641918-559 [3] час дії статичного навантаження від транспорту рівний 600 сек, час дії динамічного навантаження від транспорту рівний 0,1 сек.

⁴ Згідно вимог вимог ДСТУ 3587 [4] до утруднених умов руху відносять ділянки на кривих у плані радіусами від 250 до 1000 м, на спусках і підйомах з ухілами від 30 ‰ до 60 ‰, ділянки у зонах звуження проїзної частини.

До небезпечних умов руху відносять ділянки з видимістю менше ніж розрахункова, підйоми і спуски з ухілами, що перевищують розрахункові, зони перехрещень в одному рівні.

Також, з метою оцінювання впливу дії навантаження від транспорту на бруківку бетонну, як матеріал покриття, були виконані випробування по визначенню міцності на розтяг при розколюванні (згідно із [5]). В результаті встановлено, що міцність бруківки бетонної на розтяг при розколюванні, внаслідок дії 20 000 проїздів розрахункового навантаження (групи А₃ з навантаженням на вісь 100 кН), дещо зменшилась (від 1 до 5%). Міцність асфальтобетону на розтяг від дії транспортного навантаження також несуттєво зменшується, не більше ніж на 7÷10%.

Однак, слід звернути увагу на те, що експериментальні конструкції дорожнього одягу перебували в досить жорстких умовах випробувань. Такі жорсткі умови роботи експериментальних конструкцій полягають у дії відцентрової сили та концентрованої дії транспортного навантаження, тобто транспортне навантаження рухається строго по одному сліду. Враховуючи реальні умови експлуатації дорожніх одягів (майже відсутня відцентрова сила; транспортне навантаження рухається з певним розподілом по ширині проїзної частини) показники міцнісних та транспортно-експлуатаційних властивостей конструкцій дорожнього одягу будуть вищими.

В цілому, за результатами виконаних досліджень можна зробити висновок – бруківка бетонна може бути застосована як матеріал покриття міських вулиць і доріг, на яких передбачено влаштування дорожнього одягу полегшеного або перехідного типу, а також на вулицях і дорогах, де інтенсивність руху не перевищує 1000 автомобілів на добу (пункт 8.8 ДБН В.2.3-5 [1] і таблиці 8,1 та 4.1 ДБН В.2.3-4 [2] (див. Додаток А цієї записки)). При відповідному техніко-економічному обґрунтуванні бруківка бетонна може бути застосована як матеріал покриття також на міських вулицях і дорогах інших категорій.

Крім того, покриття із бруківки бетонної має ряд переваг, порівняно з покриттям із асфальтобетону:

- покриття із брущатки бетонної не чутливе до впливу високих літніх температур (відсутнє утворення пластичних деформацій, тобто, таке покриття більш стійке до утворення колії);
- краща ремонтпридатність (окремі елементи покриття із брущатки бетонної легко піддаються демонтажу і можуть бути повторно укладені в покриття. Тоді як асфальтобетон не може бути повторно використаний для влаштування покриття);
- покриття із брущатки бетонної не є монолітним, на відміну від асфальтобетонного покриття. Відповідно, в процесі експлуатації відсутня необхідність виконання робіт, пов'язаних із відновленням монолітності покриття (ремонт та герметизація тріщин);
- роботи по влаштуванню покриття із брущатки бетонної можна виконувати при температурах довкілля нижчих, аніж дозволені для влаштування покриття із асфальтобетону (згідно вимог ДБН В.2.3-4 [2] виконання робіт по укладанню гарячих асфальтобетонних сумішей у весняно-літній період при температурі довкілля не нижче ніж плюс 5 °С та у осінньо-зимовий період при температурі довкілля не нижче ніж плюс 10 °С);
- брущатка бетонна не потребує особливих умов транспортування та укладання (дальність транспортування, температурний режим укладання та ущільнення). Також, на відміну від асфальтобетонної суміші брущатка бетонна може складуватись та зберігатись на місці застосування необмежений час;
- можливість вибору і зміни кольору, при необхідності виділення окремих елементів проїзної частини (виділення іншим кольором меж смуги руху, зупинкових смуг, меж велосипедних доріжок тощо), відповідно відсутні витрати, пов'язані із нанесенням дорожньої розмітки;
- досить екологічне та безпечне (не виділяє в атмосферу канцерогенні речовини (летючі похідні нафти)).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів».
2. ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво».
3. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 «Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування».
4. ДСТУ 3587-97 «Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану».
5. ДСТУ Б EN 1338:2016 «Бруківка бетонна. Вимоги і методи випробувань (EN 1338:2003, IDT+EN 1338:2003/AC:2006, IDT)».

Директор
ТОВ «ІКБ «ІНГЕНІУМ»



(О. М. Куцман)

ДОДАТОК А

А.1 Витяг із ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів»

8.8 Тип покриття для конструкцій нежорсткого дорожнього одягу визначається за таблицею 8.1.

Таблиця 8.1

Категорія вулиць і доріг	Дорожній одяг нежорсткого типу	
	Тип	Матеріал покриття
1	2	3
Дороги та вулиці сільських населених пунктів	Полегшений	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий II марки; холодний асфальтобетон I марки; литі емульсійно-мінеральні покриття; кам'яний матеріал, оброблений органічним в'язучим методом змішування в установці; бруківка
Вулиці і дороги місцевого значення: – вулиці та дороги в науково-виробничих, промислових і комунально-складських зонах; – житлові; – пішохідні вулиці і дороги	Полегшений	Асфальтобетон гарячий дрібнозернистий II марки; асфальтобетон гарячий пористий або високопористий з поверхневою обробкою; литі емульсійно-мінеральні покриття; кам'яний матеріал, оброблений органічним або мінеральним в'язучим із змішуванням в установці; бруківка
Вулиці і дороги місцевого значення: – проїзди; – велосипедні доріжки	Перехідний	Кам'яний матеріал, оброблений органічним або мінеральним в'язучим із змішуванням в установці; щебенево-піщана або гравійно-піщана суміш з поверхневою обробкою; бруківка

А.2 Витяг із ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво»

Таблиця 8.1 – Сфера застосування покриттів дорожнього одягу

Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Матеріал верхнього шару покриття
IV	Капітальний	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий I марки. Щебенево-мастиковий асфальтобетон. Цементобетон
	Удосконалений полегшений	Кам'яні матеріали, а також підібрані матеріали з промислових відходів, оброблені в'язучими методом змішування в установці чи на дорозі (у тому числі холодний ресайклінг) або просочування з улаштуванням шару зносу

Таблиця 4.1 – Технічна класифікація автомобільних доріг

Категорія дороги	Розрахункова перспективна інтенсивність руху, авт/добу	
	у транспортних одиницях	у приведених одиницях до легкового автомобіля
IV	від 150 до 1 000	від 300 до 2 500
V	до 150	до 300
Примітка. При однакових вимогах до доріг I-а та I-б категорій далі вони позначаються як дороги I категорії.		

ДОДАТОК Б

ВАРІАНТИ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З ПОКРИТТЯМ ІЗ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ

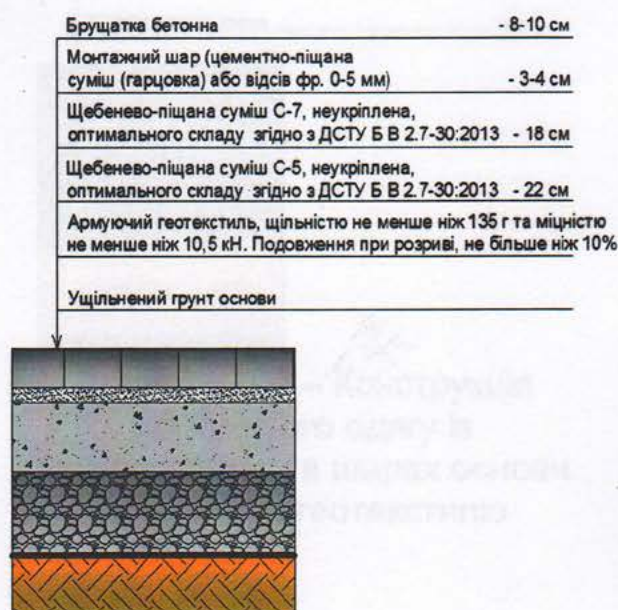


Рисунок Б.1 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням в шарах основи армуючого геотекстилю

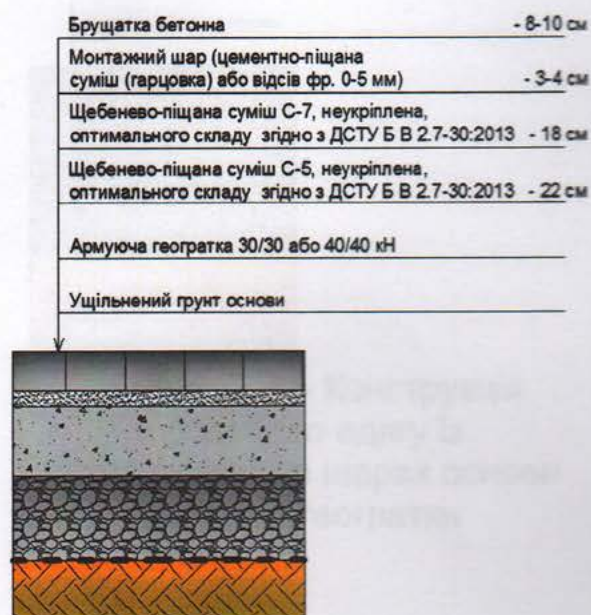


Рисунок Б.2 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням в шарах основи армуючої георатки

У випадку необхідності забезпечення умов щодо морозостійкості конструкції дорожнього одягу, згідно з ГН В.2.3-37641918-559 [3], при влаштуванні конструкцій слід передбачити мороззахисний шар із піску (рисунки Б.3, Б.4).

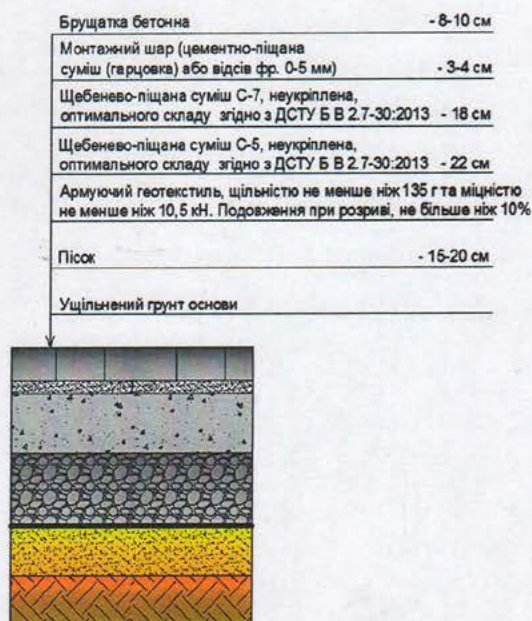


Рисунок Б.3 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням в шарах основи армуючого геотекстилю

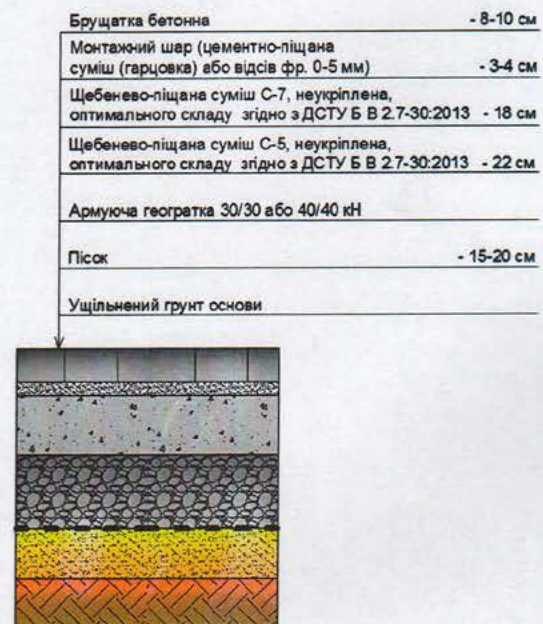


Рисунок Б.4 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням в шарах основи армуючої георатки

У випадку необхідності уточнення товщини конструктивних шарів запропонованих конструкцій, зокрема для особливих умов експлуатації (складні інженерно-геологічні умови, наднормативні навантаження, тощо), рекомендується виконувати перевірочні розрахунки. При цьому, розрахунок має бути виконаний згідно вимог ГБН В.2.3-37641918-559 [3] із обов'язковим врахуванням конкретних умов для даного об'єкту: ґрунтово-геологічні умови району будівництва; склад транспортного потоку; інтенсивність руху; тощо.