

Товариство з обмеженою відповідальністю
«Інженерно-консультаційне бюро «ІНГЕНІУМ»
(ТОВ «ІКБ «ІНГЕНІУМ»)

04070, Україна, м. Київ, вул. Волоська 20, кв. 2; тел.: +380 (44) 425-05-43, +380 (95) 474-66-22; e-mail: ecb.ingenium@gmail.com

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор



О. М. Куцман

«24» квітня 2019 р.

З В І Т

про виконання роботи

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

Заключний

(Примірник № 1)

Київ 2019

Рукопис закінчено «23» квітня 2019 р.

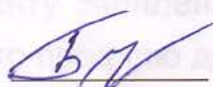
СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР
Директор
ТОВ «ІКБ «ІНГЕНІУМ»



(О. М. Куцман)

Виконавець
Фахівець технічного відділу
ТОВ «ІКБ «ІНГЕНІУМ»



(С. А. Баран)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 38 с., 10 рис., 12 табл., 2 додатки, 10 джерел.

У звіті наведені результати випробувань конструкцій дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної після 5000 обертів стенду (вимірювання прогинів під жорстким штампом та під колесом автомобіля; вимірювання коефіцієнту зчеплення колеса з покриттям; визначення параметрів поперечного профілю дорожнього покриття).

За результатами аналізу результатів випробувань, розроблені рекомендації щодо застосування брущатки бетонної в якості матеріалу покриття міських вулиць і доріг.

ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ:

БРУЩАТКА БЕТОННА, КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ, МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ, ПРУЖНИЙ ПРОГИН, КРИТЕРІЇ ГРАНИЧНОГО СТАНУ, ОПІР ЗСУВУ, МАЛО ЗВ'ЯЗНІ МАТЕРІАЛ, ҐРУНТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Звіт складено у 2-х примірниках та направлено:

Найменування організації	Адреса	Номер примірника
ТОВ «ЗОЛОТОЙ МАНДАРИН КВАДРА»	08132, Київська обл., м.Вишневе, вул. Київська, 17	1
ТОВ «Інженерно-консультаційне бюро «ІНГЕНІУМ»	04070, Україна, м. Київ, вул. Волоська 20, кв. 2	2

Право власності на цей документ належить Товариству з обмеженою відповідальністю «ЗОЛОТОЙ МАНДАРИН КВАДРА» та Товариству з обмеженою відповідальністю «Інженерно-консультаційне бюро «Інгеніум» (далі – Автори). Відтворювати, тиражувати і розповсюджувати цей документ повністю чи частково без офіційного дозволу Авторів заборонено.

Інформація і витяги із звіту не можуть бути опубліковані без посилання на нього.

ЗМІСТ

	Стор.
4 ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ НА РОЗТЯГ ПРИ РОЗКОЛЮВАННІ	
4.1 Методика випробувань	17
ВСТУП	1
1 ВИПРОБУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З ПОКРИТТЯМ ІЗ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ ПІСЛЯ 5000 ОБЕРТІВ СТЕНДУ	2
1.1 Визначення загального прогину конструкції під жорстким штампом	2
1.2 Визначення загального прогину конструкції під колесом електромобіля	3
1.3 Визначення коефіцієнта зчеплення шини з поверхнею покриття	5
2 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ	7
2.1 Визначення прогинів поверхні покриття та розрахунку загального модуля пружності конструкцій дорожнього одягу	7
2.2 Визначення коефіцієнта зчеплення шини з поверхнею покриття	10
2.3 Визначення параметрів поперечного профілю дорожнього покриття	11
3 РОЗРАХУНОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА МІЦНІСТЬ	13
3.1 Вихідні дані	13
3.2 Результати розрахунку	13

4 ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ НА РОЗТЯГ ПРИ РОЗКОЛЮВАННІ	17
4.1 Методика випробувань	17
4.2 Результати випробувань	18
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ В ЯКОСТІ МАТЕРІАЛУ ПОКРИТТЯ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ	21
6 ВИСНОВКИ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ, ЯК ПОКРИТТЯ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ	23
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	27
ДОДАТОК А ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ, ПЕРЕДБАЧЕНІ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА КІЛЬЦЕВОМУ СТЕНДІ	29
ДОДАТОК Б ВАРІАНТИ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З ПОКРИТТЯМ ІЗ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ	32

ВСТУП

Дана робота виконана в рамках договору від 08 серпня 2018 р. за № 18.03-03 на тему: «Оцінка можливості застосування бруківки бетонної в якості матеріалу покриття міських вулиць і доріг» укладеного між Товариством з обмеженою відповідальністю «ЗОЛОТОЙ МАНДАРИН КВАДРА» та Товариством з обмеженою відповідальністю «Інженерно-консультаційне бюро «Інгеніум».

На даному етапі виконання науково-дослідної роботи були виконані випробування щодо визначення міцнісних показників конструкцій дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної після 5000 проходів розрахункового навантаження групи A_3 . Величина розрахункового навантаження призначена згідно із ДБН В.2.3-4 [1].

За результатами аналізу результатів випробувань, із врахуванням результатів досліджень попередніх етапів розроблені пропозиції та рекомендації щодо застосування бруківки бетонної як матеріалу покриття міських вулиць і доріг.

В якості покриття експериментальних конструкцій дорожнього одягу було застосовано бруківку бетонну трьох типів (додаток А):

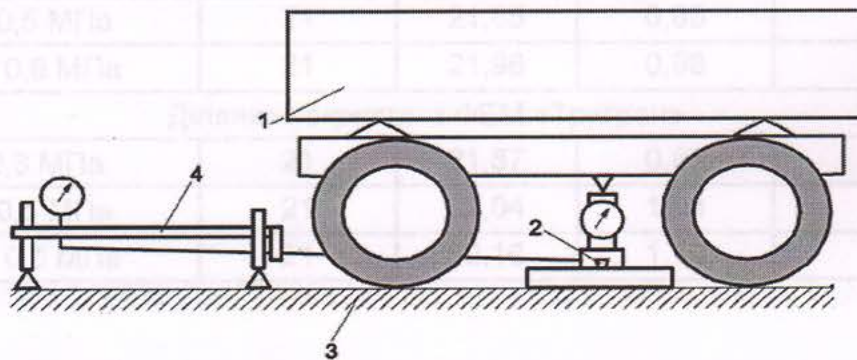
- а. Тригран;
- б. Кирпич;
- с. Подвійне Т.

1 ВИПРОБУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З ПОКРИТТЯМ ІЗ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ ПІСЛЯ 5000 ОБЕРТІВ СТЕНДУ

1.1 Визначення загального прогину конструкції під жорстким штампом

Визначення прогину поверхні конструкції дорожнього одягу виконувалось для розрахунку загального модуля пружності ($E_{\text{заг}}$) конструкцій дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної. Прогини вимірювались за методикою [2].

Визначення прогину поверхні конструкції дорожнього одягу виконане за схемою, наведеною на рисунку 1.1.



1 – електромобіль; 2 – жорсткий штамп із домкратом;
3 – конструктивний шар дорожнього одягу; 4- вагільний прогиномір.

**Рисунок 1.1 – Схема вимірювання пружного прогину під жорстким
штампом**

За результатами випробувань, згідно із методикою ВБН В-2.3-218-186 [3] були розраховані модулі пружності конструкцій дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної (таблиця 1.1). Розрахунки вказують на

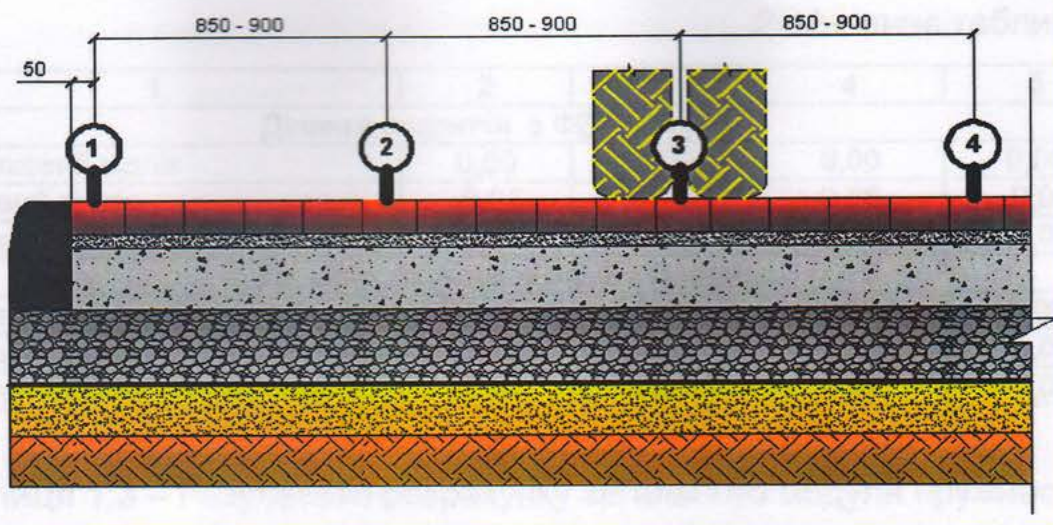
те, що $E_{ЗАГ}$ конструкції дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної «Подвійне Т» та «Кирпич» мають приблизно однакові значення. Конструкція дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної «Тригран», має найнижче значення $E_{ЗАГ}$.

Таблця 1.1 – Результати вимірювань пружного прогину під жорстким штампом

Навантаження на покриття	Початковий відлік, мм	Кінцевий відлік, мм	Різниця відліків, мм	Модуль пружності, МПа
1	2	3	4	5
Ділянка покриття з ФЕМ «Подвійне Т»				
I рівень – 0,3 МПа	21	21,59	0,59	120
II рівень – 0,5 МПа	21	21,90	0,90	131
III рівень – 0,6 МПа	21	22,00	1,00	141
Ділянка покриття з ФЕМ «Кирпич»				
I рівень – 0,3 МПа	21	21,59	0,59	120
II рівень – 0,5 МПа	21	21,85	0,85	139
III рівень – 0,6 МПа	21	21,98	0,98	144
Ділянка покриття з ФЕМ «Тригран»				
I рівень – 0,3 МПа	21	21,87	0,87	81
II рівень – 0,5 МПа	21	22,04	1,04	113
III рівень – 0,6 МПа	21	22,16	1,16	122

1.2 Визначення загального прогину конструкції під колесом електромобіля

Визначення загального прогину конструкції під колесом електромобіля виконувалось за допомогою важільних прогиномірів, що були встановлені згідно схеми (рисунк 1.2).



1, 2, 3, 4 – важільний прогиномір

Рисунок 1.2 – Схема вимірювання кривизни чаші прогину і пружного прогину під колесом автомобіля

За результатами випробувань (таблиця 1.2) були розраховані E_{3AG} конструкцій дорожнього одягу. Розрахунок загального модуля пружності виконано за методикою ВБН В-2.3-218-186 [3].

Розрахунки (таблиця 1.3) вказують на те, що E_{3AG} конструкцій дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної «Подвійне Т» та «Кирпич» мають близькі значення. Конструкція дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної «Тригран», має значення E_{3AG} дещо нижче ніж інші.

Таблиця 1.2 – Результати вимірювань пружного прогину під колесом електромобіля

Номер прогиноміру	№1	№2	№3	№4
1	2	3	4	5
Ділянка покриття з ФЕМ «Подвійне Т»				
Початковий відлік	0,00	0,00	0,00	0,00
Кінцевий відлік	0,01	0,00	0,56	-0,08
Різниця відліків	0,01	0,00	0,56	-0,08

Закінчення таблиці 1.2

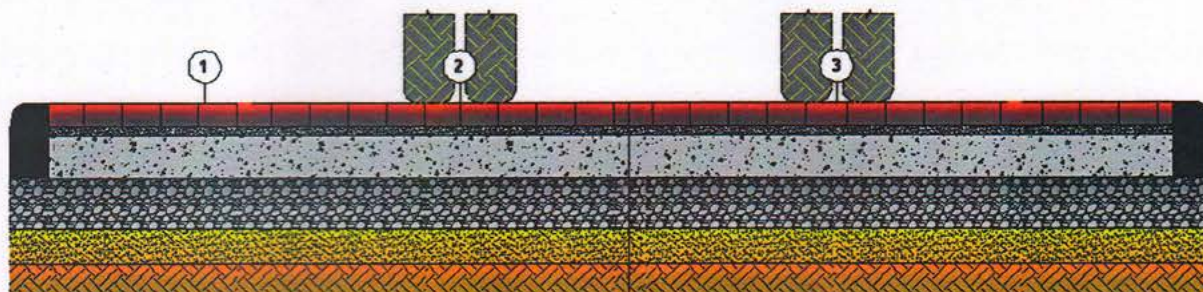
1	2	3	4	5
Ділянка покриття з ФЕМ «Кирпич»				
Початковий відлік	0,00	0,00	0,00	0,00
Кінцевий відлік	-0,01	0,00	0,66	-0,03
Різниця відліків	-0,01	0,00	0,66	-0,03
Ділянка покриття з ФЕМ «Тригран»				
Початковий відлік	0,00	0,00	0,00	0,00
Кінцевий відлік	0,00	-0,01	0,66	-0,03
Різниця відліків	0,00	-0,01	0,66	-0,03

Таблиця 1.3 – Результати розрахунку загального модуля пружності

Найменування матеріалу покриття	Загальний модуль пружності, МПа	Примітка
1	2	3
Тригран	198	Загальний модуль пружності, розрахований за методикою ВБН В-2.3-218-186 [3]
Кирпич	200	
Подвійне Т	236	

1.3 Визначення коефіцієнта зчеплення шини з поверхнею покриття

Коефіцієнт зчеплення шини з поверхнею покриття визначався за методикою [2], із врахуванням вимог чинних нормативних документів. Випробування виконані за схемою, наведеною на рисунку 1.1.



Точки вимірювання: 1 – Покриття без руху; 2 – Внутрішня колія; 3 – Зовнішня колія

Рисунок 1.3 – Схема вимірювань по визначенню коефіцієнта зчеплення

Вимірювання виконувались як на зволоженому покритті (згідно вимог чинних нормативних документів) так і на сухому. Результати вимірювань наведені нижче (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Результати вимірювань коефіцієнта зчеплення

Найменування матеріалу покриття	Покриття без руху		Внутрішня колія		Зовнішня колія	
	Сухе покриття	Зволожено покриття	Сухе покриття	Зволожено покриття	Сухе покриття	Зволожено покриття
Тригран	0,67	0,31	0,63	0,26	0,54	0,31
Кирпич	0,67	0,34	0,52	0,40	0,56	0,23
Подвійне Т	0,5	0,31	0,41	0,23	0,46	0,23

обертів секунду (рисунки 2.1-2.2).

Як видно із результатів випробувань, з часом, від дії транспортних навантажень конструкції дорожнього одягу мають тенденцію до зменшення загального модуля пружності. При чому, ця тенденція спостерігається як при дії статичного навантаження (рисунк 2.1), так і від дії динамічного навантаження (рисунк 2.2)¹.

Як видно із рисунка, значення модулів пружності мають деякий розбід і одночасно оцінити жорсткість конструкцій складно. Однак, якщо за критерій динамічн значн загального модуля пружності приймемо кут нахилу функції $E_{\text{заг}} = f(\varphi)$, (позначимо дану величину «кутовий коефіцієнт»), то за його величиною можна зробити орієнтовну оцінку жорсткості конструкцій дорожнього одягу (рисунки 2.3, 2.4). А саме, чим менший кутловий коефіцієнт (тобто чим менший кут нахилу лінії до горизонтальної осі) тим більша жорсткість конструкції і навпаки.

¹ Згідно вимог БЕН В 2.3.218-186 [7] час дії статичного навантаження від транспорту рівний 600 сек, час дії динамічного навантаження від транспортних одиниць 0,1 сек.

2 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Визначення прогинів поверхні покриття та розрахунку загального модуля пружності конструкцій дорожнього одягу

За результатами визначення прогинів поверхні покриття та розрахунку загального модуля пружності конструкцій дорожнього одягу ($E_{\text{заг}}^{\text{кдо}}$), виконаних на даному етапі роботи, із врахуванням результатів попередніх етапів, були отримані залежності зміни $E_{\text{заг}}^{\text{кдо}}$ від кількості обертів стенду (рисунки 2.1-2.2).

Як видно із результатів випробувань, з часом, від дії транспортних навантажень конструкції дорожнього одягу мають тенденцію до зменшення загального модуля пружності. При чому, ця тенденція спостерігається як при дії статичного навантаження (рисунок 2.1), так і від дії динамічного навантаження (рисунок 2.2)¹.

Як видно із рисунків, значення модулів пружності мають деякий розкид і однозначно оцінити жорсткість конструкцій складно. Однак, якщо за критерій динаміки зміни загального модуля пружності приймемо кут нахилу функції $E_{\text{заг}} = f(N)$, (позначимо дану величину «кутовий коефіцієнт»), то за його величиною можна зробити орієнтовну оцінку жорсткості конструкцій дорожнього одягу (рисунки 2.3, 2.4). А саме, чим менший кутовий коефіцієнт (тобто чим менший кут нахилу лінії до горизонтальної осі) тим більша жорсткість конструкції, і навпаки.

¹ Згідно вимог БН В-2.3-218-186 [3] час дії статичного навантаження від транспорту рівний 600 сек, час дії динамічного навантаження від транспорту рівний 0,1 сек.

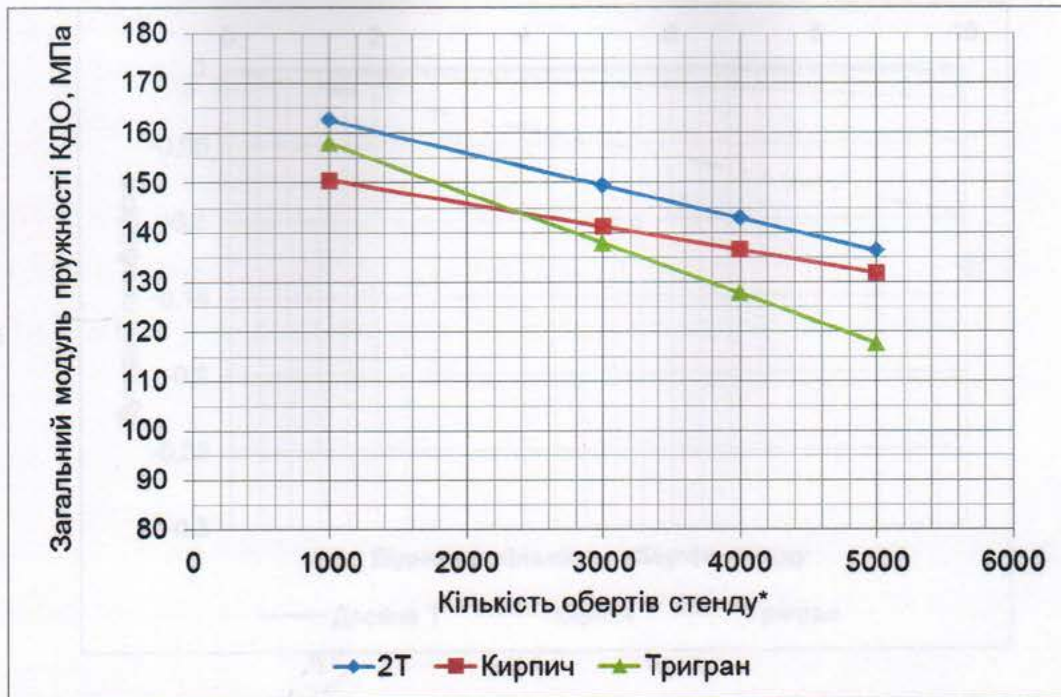


Рисунок 2.1 – Зміна загального модуля пружності конструкцій дорожнього одягу за результатами вимірювання прогину під жорстким штампом

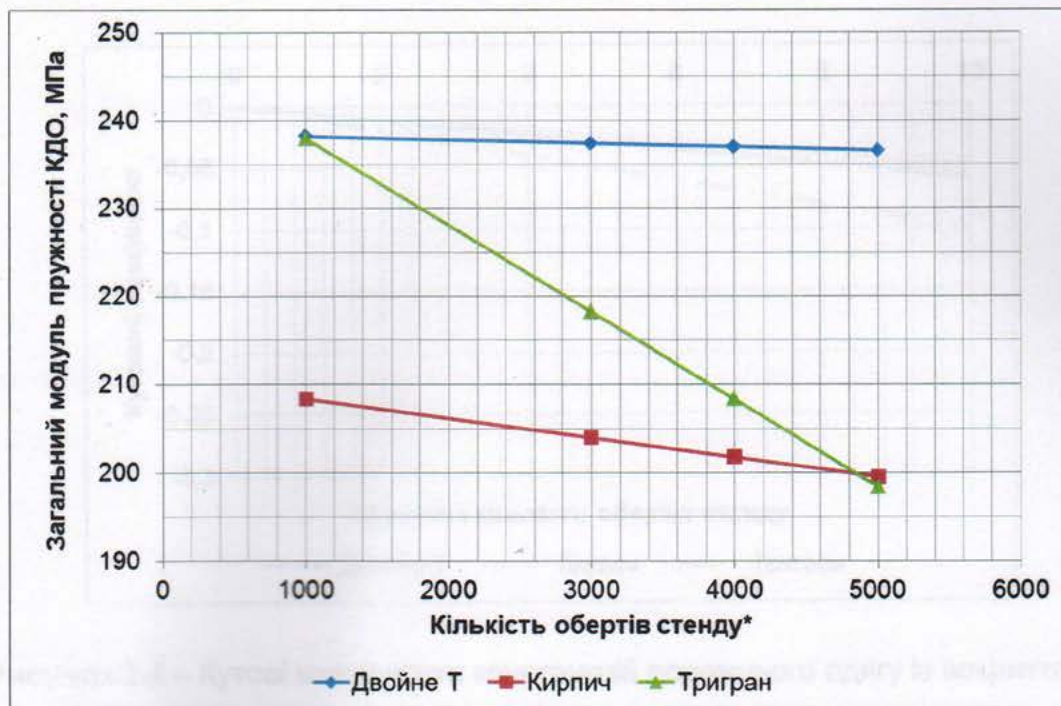


Рисунок 2.2 – Зміна загального модуля пружності конструкцій дорожнього одягу за результатами вимірювання прогину під колесом автомобіля

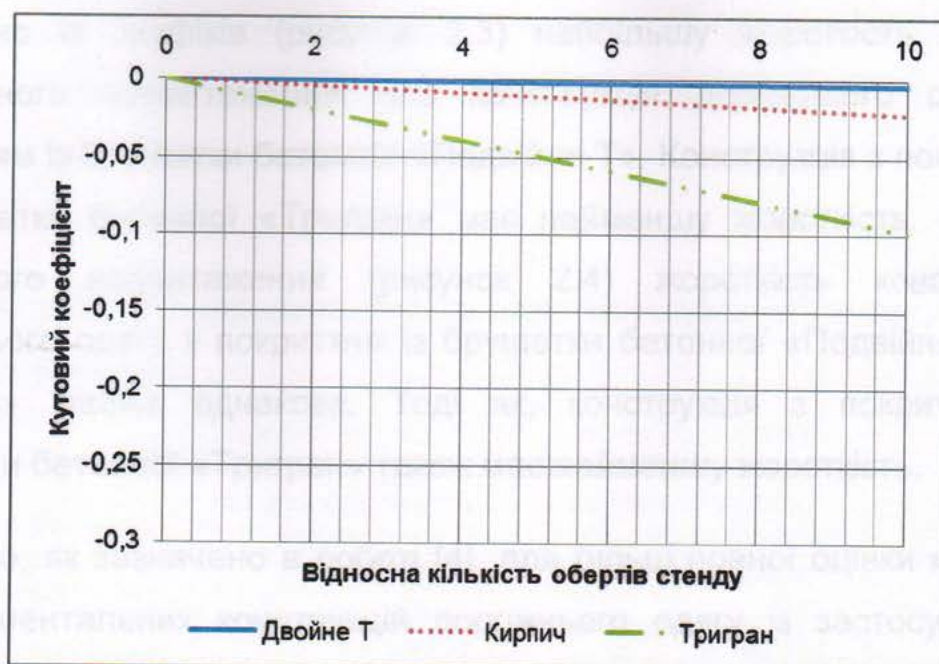


Рисунок 2.3 – Кутові коефіцієнти конструкцій дорожнього одягу із покриттям із брущатки бетонної під дією динамічного навантаження

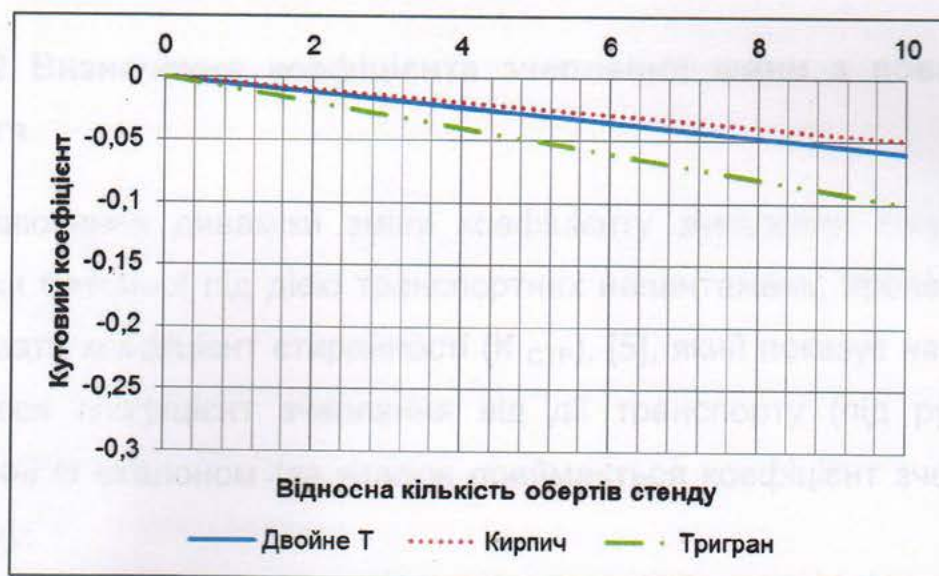


Рисунок 2.4 – Кутові коефіцієнти конструкцій дорожнього одягу із покриттям із брущатки бетонної під дією статичного навантаження

Як видно із графіків (рисунок 2.3) найбільшу жорсткість при дії динамічного навантаження має конструкція дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної «Подвійне Т». Конструкція з покриттям із брущатки бетонної «Тригран» має найменшу жорсткість. При дії статичного навантаження (рисунок 2.4) жорсткість конструкцій дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної «Подвійне Т» та «Кирпич» майже однакова. Тоді як, конструкція з покриттям із брущатки бетонної «Тригран» також має найменшу жорсткість.

Крім того, як зазначено в роботі [4], для більш повної оцінки міцності експериментальних конструкцій дорожнього одягу із застосуванням брущатки бетонної були виконані їх розрахунки на міцність згідно із ВБН В.2.3-218-186 [3]. Результати цих розрахунків наведені нижче (розділ 3 цього звіту).

2.2 Визначення коефіцієнта зчеплення шини з поверхнею покриття

Для оцінювання динаміки зміни коефіцієнту зчеплення покриття із брущатки бетонної під дією транспортних навантажень, пропонується застосувати коефіцієнт стиранності ($K_{\text{стр}}$), [5], який показує на скільки зменшився коефіцієнт зчеплення від дії транспорту (під рухом) в порівнянні із еталоном (за еталон приймається коефіцієнт зчеплення без руху).

За результатами випробувань по визначенню коефіцієнту зчеплення та розрахунку коефіцієнту стиранності (таблиця 2.1), можна зробити висновок, що брущатка бетонна «Подвійне Т» має більшу здатність

до стирання в порівнянні із брукаткою бетонною «Тригран» та «Кирпич», оскільки, значення $K_{СТР}$ для «Подвійне Т» менше ніж для двох інших видів брукатки бетонної.

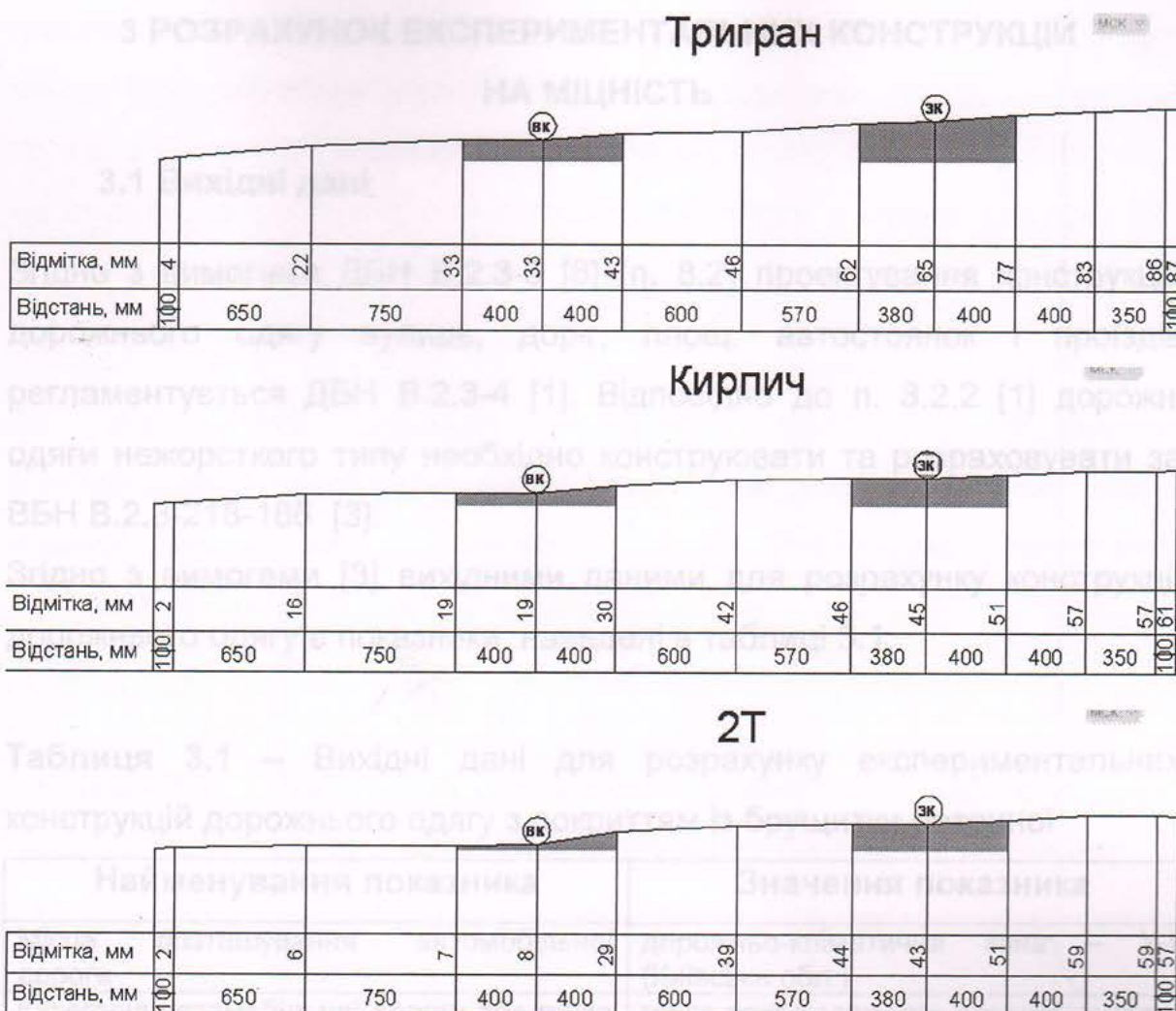
Таблиця 2.1 – Коефіцієнти зчеплення та стираності покриття із брукатки бетонної

Найменування матеріалу покриття	Середнє значення коефіцієнт зчеплення по зволоженому покритті		Середнє значення коефіцієнт зчеплення по зволоженому і сухому покритті		Коефіцієнт стираності $K_{СТР}$
	Покриття без руху, $K_{ЗЧ}^{БР(е)}$	Покриття під рухом, $K_{ЗЧ}^{ПР}$	Покриття без руху, $K_{ЗЧ}^{БР(е)}$	Покриття під рухом, $K_{ЗЧ}^{ПР}$	
Тригран	0,310	0,285	0,490	0,435	0,92/0,89
Кирпич	0,340	0,315	0,505	0,428	0,93/0,85
Подвійне Т	0,310	0,230	0,405	0,333	0,74/0,82

Примітка. В чисельнику наведене значення $K_{СТР}$ для зволоженого покриття.
В знаменнику наведене середнє значення $K_{СТР}$ для коефіцієнту зчеплення по зволоженому і сухому покриттю.

2.3 Визначення параметрів поперечного профілю дорожнього покриття

Параметри поперечного профілю (рисунк 2.5) визначались для оцінки стійкості покриття до накопичення залишкових деформацій під дією транспортних навантажень.



**Рисунок 2.5 – Схема вимірювання параметрів поперечного профілю
дорожнього покриття із покриттям із брущатки бетонної**

За результатами вимірювання параметрів поперечного профілю встановлено, що по завершенню випробувань ці показники не змінились. Отже, можна зробити висновок, що після 5000 обертів стенду (або 20 000 проходів розрахункового навантаження групи А₃) не відбулось накопичення залишкових деформацій, тобто колія на експериментальних конструкціях дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної не утворилась.

3 РОЗРАХУНОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА МІЦНІСТЬ

3.1 Вихідні дані

Згідно з вимогами ДБН В.2.3-5 [6] (п. 8.2) проектування конструкцій дорожнього одягу вулиць, доріг, площ, автостоянок і проїздів регламентується ДБН В.2.3-4 [1]. Відповідно до п. 8.2.2 [1] дорожні одяги нежорсткого типу необхідно конструювати та розраховувати за ВБН В.2.3-218-186 [3].

Згідно з вимогами [3] вихідними даними для розрахунку конструкції дорожнього одягу є показники, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку експериментальних конструкцій дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної

Найменування показника	Значення показника
Місце розташування автомобільної дороги	дорожньо-кліматична зона – У-II (Київська обл.)
Категорія автомобільної дороги або група розрахункового навантаження (згідно з ДБН В.2.3-4)	група розрахункового навантаження – А ₃
Сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження, приведенного до групи А ₃	20 000
Ґрунт земляного полотна	Суглинок важкий пилуватий (грунтовий район III Р.4. Для даного району значення вологості (W) рівне – 0.65W _L)
Тип місцевості за умовами зволоження (згідно з ДБН В.2.3-4)	I

3.2 Результати розрахунку

Як було зазначено в роботі [4] міцність конструкцій дорожнього одягу, як і інших будівельних конструкцій, слід оцінювати за двома групами

граничного стану (за деформаціями та за несучою здатністю). Згідно вимог [3] критеріями граничного стану дорожніх одягів є: пружний прогин конструкції (розрахунок за деформаціями); опір зсуву у шарах із мало зв'язних матеріалів та в ґрунті земляного полотна; опір розтягу при згині шарів із монолітних матеріалів (розрахунок за несучою здатністю).

За допустимим пружним прогином виконують попереднє конструювання дорожнього одягу, який потім розраховують за двома іншими критеріями граничного стану. Результати розрахунку конструкцій наведені нижче (таблиці 3.2 – 3.4).

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку експериментальної конструкції №3 дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної «Тригран»

№ п/п	Матеріал шару	h, см	Коефіцієнт запасу міцності, Кмц, за критерієм граничного стану		
			пружний прогин	згин монолітних шарів	зсув незв'язних шарів
1	ББ Тригран	8	$\frac{1,33}{1,73}$	$\frac{1,29}{-}$	
2	ЩПС С-7	18			
3	Щебінь фр. 40-70 мм	22			
4	Пісок	15			
5	Сугл.важкий пил.	-			$\frac{1,4}{1,42}$
Примітка. В чисельнику наведене значення нормованого (мінімально допустимого) коефіцієнту запасу міцності [Кмц]. В знаменнику – розрахункового Кмц.					

**Таблиця 3.3 – Результати розрахунку експериментальної конструкції
№2 дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної «Кирпич»**

№ п/п	Матеріал шару	h, см	Коефіцієнт запасу міцності, Кмц, за критерієм граничного стану		
			пружний прогин	згин монолітних шарів	зсув незв'язних шарів
1	ББ Кирпич	8	$\frac{1,33}{1,90}$	$\frac{1,29}{-}$	
2	ЩПС С-7	18			
3	Щебінь фр. 40-70 мм	22			
4	Пісок	15			
5	Сугл.важкий пил.	-			$\frac{1,4}{1,56}$
Примітка. В чисельнику наведені значення нормованого (мінімально допустимого) коефіцієнту запасу міцності [Кмц]. В знаменнику – розрахункового Кмц.					

**Таблиця 3.4 – Результати розрахунку експериментальної конструкції
№1 дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної «Подвійне Т»**

№ п/п	Матеріал шару	h, см	Коефіцієнт запасу міцності, Кмц, за критерієм граничного стану		
			пружний прогин	згин монолітних шарів	зсув незв'язних шарів
1	ББ 2Т	8	$\frac{1,33}{1,92}$	$\frac{1,29}{-}$	
2	ЩПС С-7	18			
3	Щебінь фр. 40-70 мм	22			
4	Пісок	15			
5	Сугл.важкий пил.	-			$\frac{1,4}{1,59}$
Примітка. В чисельнику наведені значення нормованого (мінімально допустимого) коефіцієнту запасу міцності [Кмц]. В знаменнику – розрахункового Кмц.					

Оскільки, покриття експериментальних конструкцій дорожнього одягу влаштоване із брущатки бетонної (що не є монолітним матеріалом), то розрахунок конструкції за критерієм міцності розтягу при згині виконувати не потрібно. А оцінювання міцності конструкцій виконувати за показниками пружного прогину та опору зсуву у шарах із мало зв'язних матеріалів та в ґрунті земляного полотна. При цьому, слід керуватись наступною умовою. Конструкція дорожнього одягу вважається міцною, якщо коефіцієнт міцності $K_{мц}$ за кожним із критеріїв (розрахунковий), більший чи дорівнює мінімально допустимому (нормованому) $[K_{мц}]$, 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.

Як показують результати розрахунку, розрахункові коефіцієнти запасу міцності більші, ніж коефіцієнти запасу міцності нормовані. Тобто, умова $K_{мц} > [K_{мц}]$, яка є основною вимогою чинних нормативних документів, виконується і конструкції є достатньо міцними та можуть застосовуватись для стендових випробувань.

1 – зразок, 2 – пристрій для навантаження (плита) при випробуванні при розтягу; 3 – пристрій для навантаження (струмина для розколювання) при випробуванні при розколюванні; 4 – кутовий шарнір; 5 – додаткова кулькова опора; 6 – мітка опора преси (випробувальна машина)

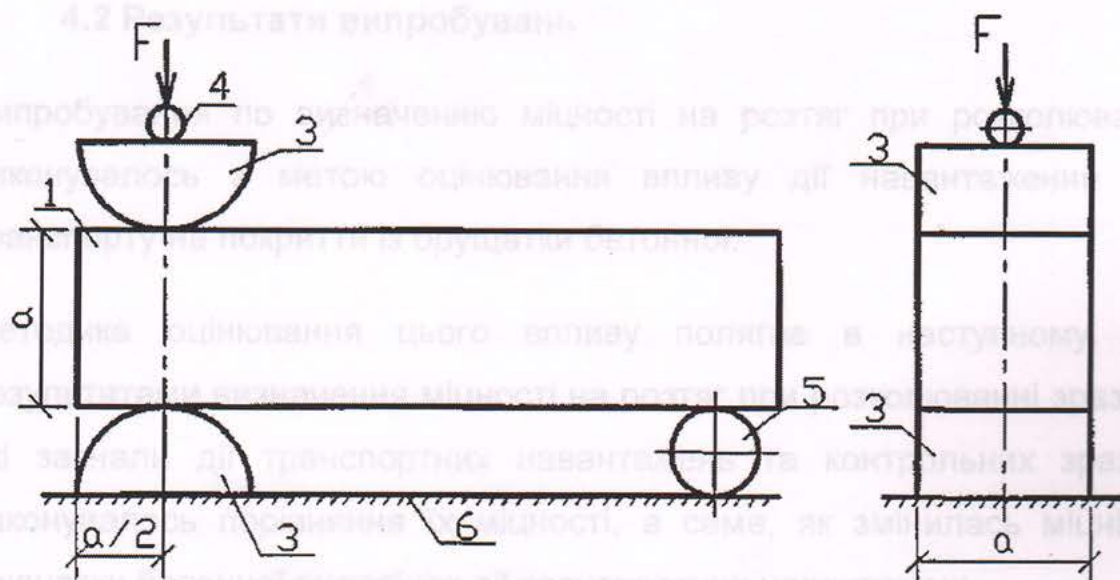
Рисунок 4.1 – Схеми пристроїв для випробувань на розтяг при розколюванні

Навантаження зразків здійснюють безперервно зі швидкістю, що забезпечує підвищення розрахункового напруження в зразку до його

4 ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ НА РОЗТЯГ ПРИ РОЗКОЛЮВАННІ

4.1 Методика випробувань

Визначення міцності брущатки бетонної на розтяг при розколюванні виконувалось згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-214 [7]. Суть випробувань полягає в наступному, зразки установлюють на плиту преса або у випробувальний пристрій за схемою, що наведена на рисунку 4.1 і завантажують до руйнування.



1 – зразок; 2 – пристрій для навантажування (плита) при випробуванні циліндра; 3 – пристрій для навантажування (стрижень для розколювання) при випробуванні куба, призми; 4 – кульовий шарнір; 5 – додаткова кульова опора; 6 – нижня опора преса (випробувальної машини)

Рисунок 4.1 – Схеми пристроїв для випробувань на розтяг при розколюванні

Навантаження зразків здійснюють безперервно зі швидкістю, що забезпечує підвищення розрахункового напруження в зразку до його

повного руйнування у відповідних межах. Режим навантаження призначали із врахуванням вимог ДСТУ Б EN 1338 [8]. Максимальне зусилля, що досягається в процесі випробувань, приймають за руйнівне на вантаження.

Зразки-призми послідовно розколюють у декількох перерізах по довжині. Відстань між перерізами розколювання повинна бути не менше половини висоти призми.

4.2 Результати випробувань

Випробування по визначенню міцності на розтяг при розколюванні виконувалось з метою оцінювання впливу дії навантаження від транспорту на покриття із брущатки бетонної.

Методика оцінювання цього впливу полягає в наступному. За результатами визначення міцності на розтяг при розколюванні зразків, які зазнали дії транспортних навантажень та контрольних зразків виконувалось порівняння їх міцності, а саме, як змінилась міцність брущатки бетонної внаслідок дії транспортних навантажень.

Результати наведені в таблицях 4.1-4.3. В цих таблицях зразки, які зазнали дії транспортних навантажень позначені індексом «1», а контрольні зразки – індексом «0».

Таблиця 4.1 – Результати визначення міцності на розтяг при розколі брущатки бетонної «Подвійне Т»

Шифр брущатки	Розміри перерізу, см		Межа міцності на розтяг при розколі, МПа
	b	h	
2Т ¹	11,47	9,94	3,48
	11,47	9,99	4,47
	11,5	10,09	4,65
	11,47	9,94	3,30
	11,5	10,09	3,96
2Т ⁰	11,4	9,88	3,52
	11,47	10,06	5,37
	11,47	10,06	3,20

Таблиця 4.2 – Результати визначення міцності на розтяг при розколі брущатки бетонної «Тригран»

Шифр брущатки	Розміри перерізу, см		Межа міцності на розтяг при розколі, МПа
	b	h	
Тригран ¹	8,82	7,78	5,57
	7,92	7,95	5,61
	7,94	8,1	4,97
	7,71	7,78	4,58
Тригран ⁰	8,74	8,7	4,93
	8,76	8,2	4,70
	7,86	8,07	5,75
	7,29	8,2	5,74

Таблиця 4.3 – Результати визначення міцності на розтяг при розколі бруківки бетонної «Кирпич»

Шифр бруківки	Розміри перерізу, см		Межа міцності на розтяг при розколі, МПа
	b	h	
Кирпич ¹	9,81	10,33	2,61
	9,8	10,31	3,20
	9,8	10,31	4,13
Кирпич ⁰	9,81	10,33	3,85
	9,81	10,33	3,00

Як видно із результатів випробувань міцність бруківки бетонної на розтяг при розколюванні, внаслідок дії транспортних навантажень дещо зменшилась (від 1 до 3%, відповідно). Однак, із врахуванням точності інженерних методів такою зміною міцності можна знехтувати.

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БРУКІВКИ БЕТОННОЇ В ЯКОСТІ МАТЕРІАЛУ ПОКРИТТЯ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ

5.1 Із врахуванням вимог ДСТУ 3587 [9] (мінімальне значення коефіцієнта зчеплення з вологим покриттям має бути рівним 0,3), потрібно підвищити шорсткість поверхні усіх видів бруківки бетонної.

5.2 Збільшити відстань між окремими елементами бруківки бетонної, для зменшення небезпеки їх руйнування внаслідок температурних коливань. На основі досвіду європейських країн відстань між окремими елементами бруківки бетонної повинна бути в межах 4÷6 мм (відстань між окремими елементами бруківки бетонної в експериментальних конструкціях (див. додаток А) складає 2÷4 мм).

5.3 Для запобігання нерівномірного осідання чи перекосу окремих елементів бруківки бетонної зменшити товщину «монтажного шару», виконаного із відсіву фр. 0-5 мм, до 20÷30 мм. Або застосувати суміш більш «вузьких» фракцій з відповідним співвідношенням компонентів, яке забезпечить максимальну щільність та мінімальну його консолідацію.

5.4 Враховуючи концепцію вічних дорожніх одягів [10], конструювання дорожнього одягу із застосуванням бруківки бетонної повинно виконуватись виходячи із підвищених вимог до міцності основи, а покриття має виконувати роль тимчасового шару, який періодично відновлюється. При цьому, можна досягти зниження вартості життєвого циклу дороги через відсутність ремонтів основи.

5.5 В процесі проектування конструкцій дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної, перед виконанням будівельних робіт, необхідно обов'язково виконувати розрахунок декількох варіантів на міцність із обов'язковим техніко-економічним обґрунтуванням вибору оптимального варіанту. При цьому, розрахунок варіантів має бути виконаний згідно вимог ВБН В-2.3-218-186 [3] із обов'язковим врахуванням конкретних умов для даного об'єкту: ґрунтово-геологічні умови району будівництва; склад транспортного потоку; інтенсивність руху; тощо.

5.6 Орієнтовні варіанти конструктивних рішень, які можуть бути застосовані при проектуванні конструкцій дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної наведені в додатку Б.

Враховуючи реальні умови експлуатації дорожніх одягів (майже відсутня відцентрова сила; транспортне навантаження рухається з певним розподілом по ширині проїзної частини) руйнування окремих елементів покриття відбудеться значно пізніше або не відбудеться взагалі.

5.3 Порівнявши результати випробувань конструкцій дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної «тригран», «кирич», «кладаний» та (далі – конструкція типу 1) та конструкцій з покриттям із

6 ВИСНОВКИ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БРУКІВКИ БЕТОННОЇ, ЯК ПОКРИТТЯ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ

6.1 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 (згідно таблиці 8.1 ДБН В.2.3-5 [6]).

6.2 По закінченні випробувань (після 20 000 проїздів розрахункового навантаження групи A_3 (навантаження на вісь 100 кН)) спостерігалось руйнування окремих елементів покриття із бруківки бетонної. Це пов'язано із тим, що експериментальні конструкції дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної 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 [5].

Враховуючи реальні умови експлуатації дорожніх одягів (майже відсутня відцентрова сила; транспортне навантаження рухається з певним розподілом по ширині проїзної частини) руйнування окремих елементів покриття відбудеться значно пізніше або не відбудеться взагалі.

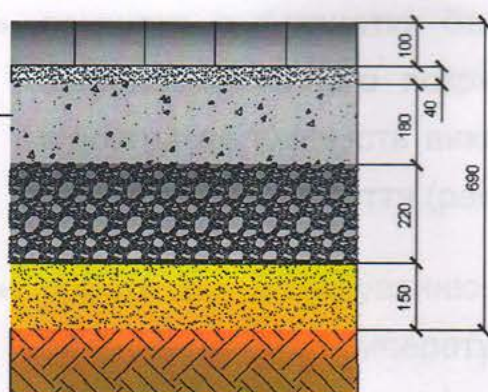
6.3 Порівнявши результати випробувань конструкцій дорожнього одягу з покриттям із бруківки бетонної «тригран», «кирич», «подвійне Т» (далі – конструкція типу 1) та конструкцій з покриттям із

асфальтобетону (далі – конструкція типу 2) (рисунк 5.1) можна зробити наступні висновки:

6.3.1 При інших рівних умовах, (конструкції дорожнього одягу мають однакові міцнісні показники та відповідають вимогам щодо критеріїв граничного стану), глибина колії, після 5 тисяч обертів Стенду, в конструкціях типу 1 складає не більше ніж 3÷5 мм, тоді як глибина колії в конструкціях типу 2 знаходиться в межах від 7,5 до 12 мм. Також слід зазначити, що колія в конструкціях типу 1 утворилась внаслідок консолідації (доуцільнення) «монтажного шару», виконаного із відсіву фр. 0-5 мм, тоді як колія в конструкціях типу 2 утворилась внаслідок накопичення пластичних деформацій в асфальтобетоні.

6.3.2 Кутовий коефіцієнт в конструкціях типу 2 має величину, приблизно рівну кутовому коефіцієнту в конструкціях типу 1. Тобто, динаміка зміни модуля пружності конструкцій від кількості проїздів транспортних засобів приблизно однакова.

6.4 Міцність бруківки бетонної на розтяг при розколюванні, внаслідок дії транспортних навантажень дещо зменшилась (від 1 до 3%), однак, із врахуванням точності інженерних методів такою зміною міцності можна знехтувати. Відповідно, можна зробити висновок – після 20 000 проїздів розрахункового навантаження групи А₃ (навантаження на вісь 100 кН) міцність покриття із бруківки бетонної практично не зменшується від дії транспортного навантаження.



Грунт зем. полотно - суглинок важкий пілуватий

Пісок - 150 мм

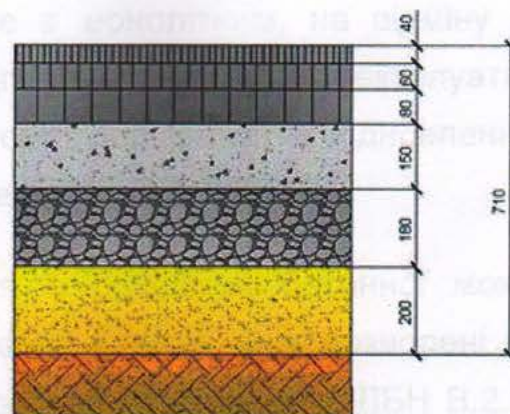
Розділяючий прошарок із
геосинтетичного матеріалу

Щебінь фр. 40-70 мм - 220 мм

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

Відсів фр. 0-5 мм - 40 мм

Брукатка бетонна (подвійне Т) - 100 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

а) – конструкція дорожнього одягу типу 1
(з покриттям із брукатки бетонної)

б) – конструкція дорожнього одягу типу 2
(з покриттям із асфальтобетону)

Рисунок 5.1 – Схеми конструкцій дорожнього одягу

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

- покриття із брукатки 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 брукатки бетонної легко піддаються демонтажу і можуть бути повторно укладені в покриття. Тоді як асфальтобетон не може бути повторно використаний для влаштування покриття);

- покриття із бруківки 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 бруківки бетонної можна виконувати при температурах довкілля нижчих, аніж дозволені для влаштування покриття із асфальтобетону (згідно вимог ДБН В.2.3-4 [1] виконання робіт по укладанню гарячих асфальтобетонних сумішей у весняно-літній період при температурі довкілля не нижче ніж плюс 5 °C та у осінньо-зимовий період при температурі довкілля не нижче ніж плюс 10 °C. За необхідності, при умові дотримання спеціальних вимог, допускається виконання робіт по укладанню гарячих асфальтобетонних сумішей за температури довкілля нижче ніж плюс 5 °C, але не нижче ніж мінус 5 °C);
- бруківка бетонна не потребує особливих умов транспортування та укладання (дальність транспортування, температурний режим укладання та ущільнення). Також, на відміну від асфальтобетонної суміші бруківка 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.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво».
2. Методика випробування брущатки бетонної як матеріалу покриття міських вулиць і доріг. Частина I. Стендові випробування. Частина II. Лабораторні випробування / ТОВ «ІКБ «Інгеніум»; керівник О.М. Куцман. – Київ, 2018. – 34 с.
3. ВБН В-2.3-218-186-2004 «Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу».
4. Оцінка можливості застосування брущатки бетонної в якості матеріалу покриття міських вулиць і доріг. Етап №5. Випробування конструкцій дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної після 4000 обертів стенду: звіт про НДР (проміжний) / ТОВ «ІКБ «Інгеніум»; керівник О.М. Куцман. – Київ, 2019. – 24 с.
5. Оцінка можливості застосування брущатки бетонної в якості матеріалу покриття міських вулиць і доріг. Етап №3. Випробування конструкцій дорожнього одягу з покриттям із брущатки бетонної після 1000 обертів стенду: звіт про НДР (проміжний) / ТОВ «ІКБ «Інгеніум»; керівник О.М. Куцман. – Київ, 2019. – 19 с.
6. ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів».
7. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками».

8. ДСТУ Б EN 1338:2016 «Брущатка бетонна. Вимоги і методи випробувань (EN 1338:2003, IDT+EN 1338:2003/AC:2006, IDT)».
9. ДСТУ 3587-97 «Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану».
10. Радовский Б. С. Концепция вечных дорожных одежд // Дорожная техника. - 2011. - № 1. - С. 132 - 144.

ДОДАТОК А

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ, ПЕРЕДБАЧЕНІ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА КІЛЬЦЕВОМУ СТЕНДІ

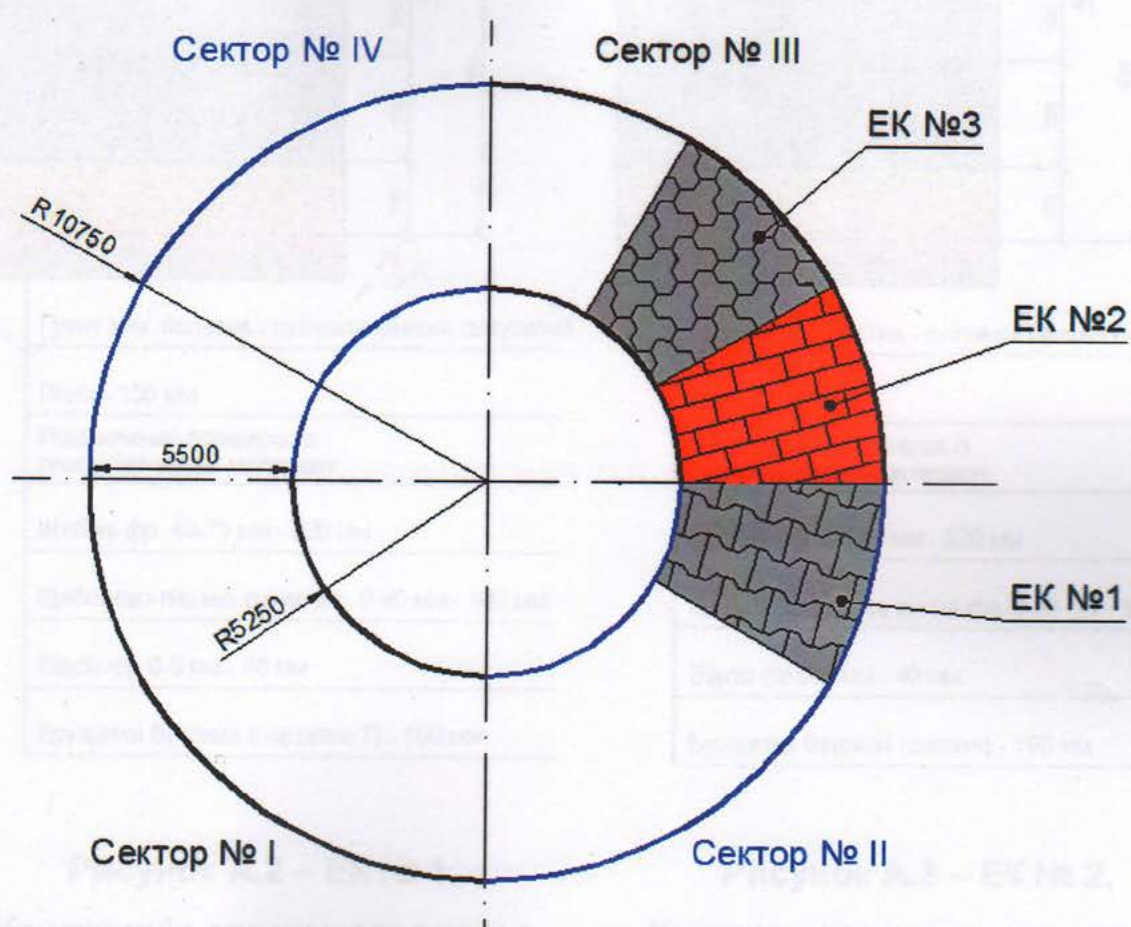
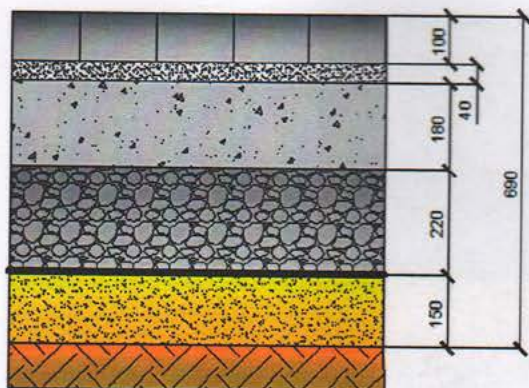


Рисунок А.1 – Схема розташування експериментальних конструкцій
дорожнього одягу на кільцевому стенді



Грунт зем. полотно - суглинок важкий пілуватий

Пісок - 150 мм

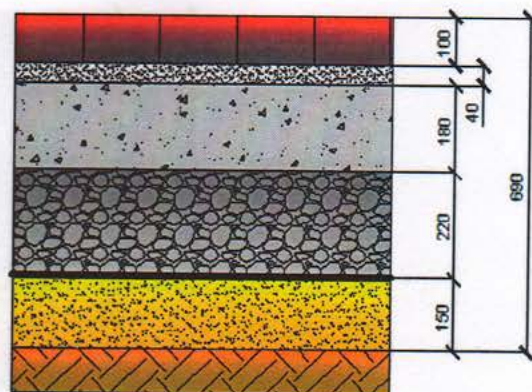
Розділяючий прошарок із
геосинтетичного матеріалу

Щебінь фр. 40-70 мм - 220 мм

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

Відсів фр. 0-5 мм - 40 мм

Брущатка бетонна (подвійне Т) - 100 мм



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 - 40 мм

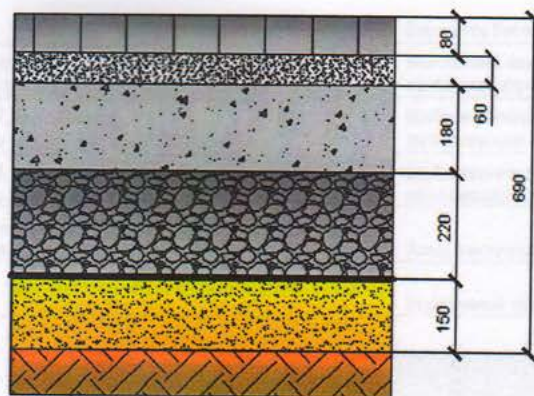
Брущатка бетонна (кирпич) - 100 мм

Рисунок А.2 – ЕК № 1.

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

Рисунок А.3 – ЕК № 2.

Конструкція дорожнього одягу з
покриттям із брущатки бетонної
«Кирпич»



Грунт зем. полотна - супинок 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

Бруківка бетонна (тригран) - 80 мм

Рисунок А.4 – ЕК № 3.

Конструкція дорожнього одягу з
покриттям із бруківки бетонної

«Тригран»

ДОДАТОК Б

ВАРІАНТИ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З ПОКРИТТЯМ ІЗ БРУЩАТКИ БЕТОННОЇ

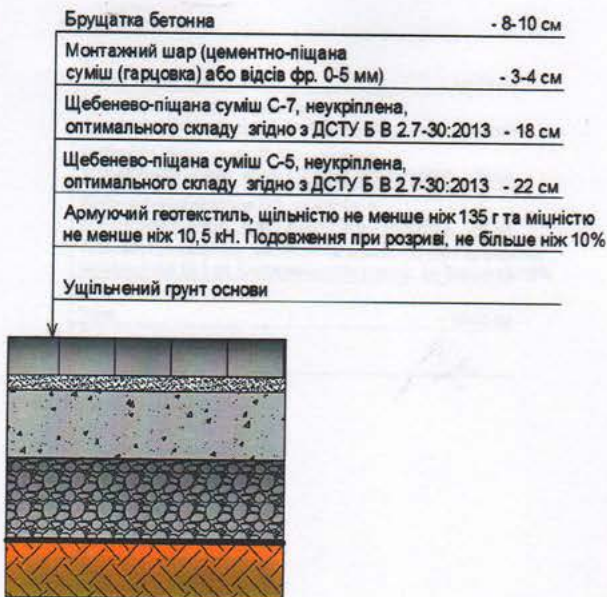


Рисунок Б.1 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням в шарах основи армуючого геотекстилю

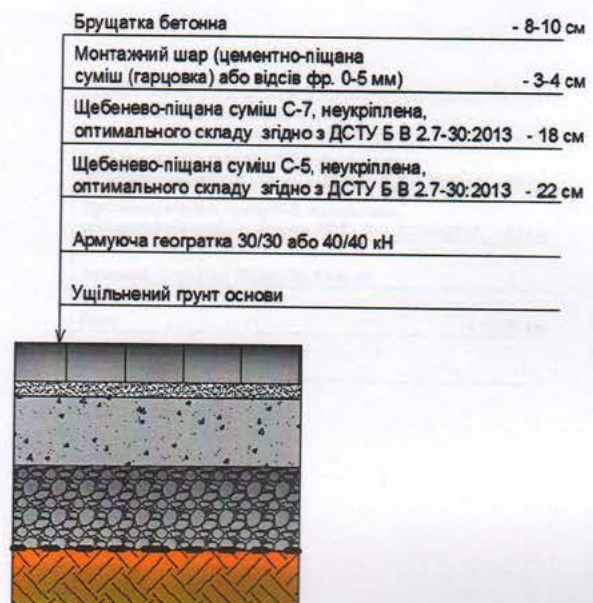


Рисунок Б.2 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням в шарах основи армуючої георатки

У випадку необхідності забезпечення умов щодо морозостійкості конструкції дорожнього одягу, згідно з п.4.2 ВБН В-2.3-218-186 [3], при влаштуванні конструкцій слід передбачити мороззахисний шар із піску (рисунки Б.3, Б.4).

Для особливих умов (складні інженерно-геологічні умови, наднормативні навантаження, тощо) рекомендується виконувати перевірочні розрахунки запропонованих конструкцій (рисунки Б.1 - Б.4) для уточнення товщини конструктивних шарів. При цьому, розрахунок

має бути виконаний згідно вимог ВБН В-2.3-218-186 [3] із обов'язковим врахуванням конкретних умов для даного об'єкту: ґрунтово-геологічні умови району будівництва; склад транспортного потоку; інтенсивність руху; тощо.

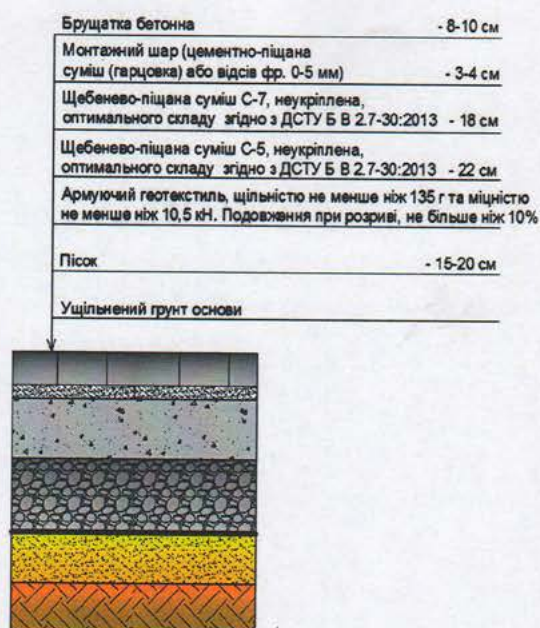


Рисунок Б.3 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням в шарах основи армуючого геотекстилю

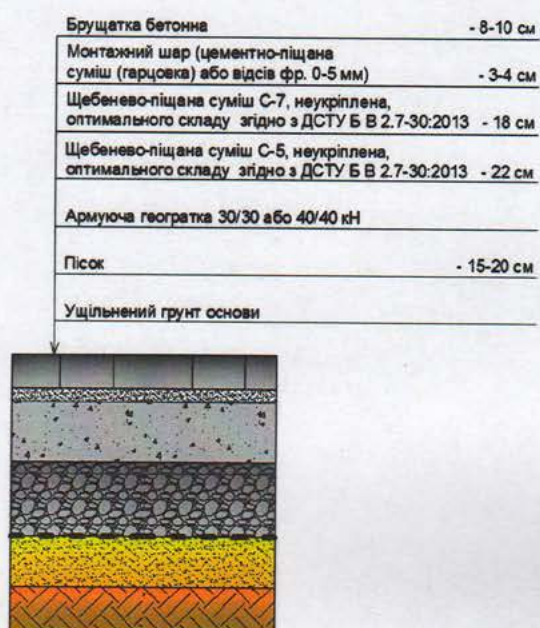


Рисунок Б.4 – Конструкція дорожнього одягу із застосуванням в шарах основи армуючої георатки