

УДК 514.18; 625.8

DOI: 10.32347/0131-579x.2024.106.96-108 к. т. н., доцент **Думанська В. В.**,
dumanika@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0135-9501

к. ф. - мат. н., доцент **Назаренко О. А.**,
gelo.fabric@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0405-6522
Одеська державна академія будівництва та архітектури

к. ф. - мат. н., доцент **Стехун А. О.**,
angela.stehun@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3140-2689
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

НОВІ ПОКРИТТЯ ПІШОХІДНИХ ЗОН ІЗ МАЛОРОЗМІРНИХ ПЛИТ З КЛИНОПОДІБНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В НИЖНІЙ ОСНОВІ

Стаття присвячена розробці нових оптимальних конструктивних рішень покриттів майданчиків, садово-паркових доріжок, прибудинкових територій та інших пішохідних зон. З метою покращення якісних характеристик запропоновані нові варіанти покриттів, які складаються з малорозмірних плит, нижня поверхня яких має клиноподібні елементи. Такі покриття, на відміну від традиційних, які складаються із плит з плоскою нижньою основою, мають багато переваг. Запропонована форма нижньої основи плит призведе до збільшення несучої здатності покриття та збільшення безремонтного терміну його експлуатації. Через нижню основу збільшеної площі передаватиметься на нижні несучі шари дорожнього одягу збільшене вертикальне навантаження. Клиноподібна форма елементів сприяє додатковому ущільненню нижній шарів, розташованих під покриттям під час укладання плит, а нахилені грані клиноподібних елементів будуть перешкоджати горизонтальному зсуву плит.

У статті розглянуті два варіанти покриття, що складаються з плит квадратної форми в плані, в середній третині нижньої основи яких розташований один клиноподібний елемент у першому варіанті, та з трьома клиноподібними елементами в нижній основі у другому варіанті. Для того, щоб не збільшувати витрати бетону на клиноподібні елементи, рекомендовано зменшити висоту бічної сторони таким чином, щоб об'єм нових плит дорівнював об'єму таких самих за формою і розмірами в плані плит з плоскою основою. Це досягається шляхом зменшення висоти бічної сторони верхньої частини плити. Для виготовлення дослідних зразків або плит безпосередньо для будівництва за розробленими варіантами, виведені формули для швидкого і зручного розрахунку їх параметрів. Проведений порівняльний аналіз параметру висоти бічної сторони запропонованих плит з трьома клиноподібними елементами в нижній основі і раніше розроблених плит з трьома призматичними елементами в нижній основі при декількох значеннях кутів при нижньому ребрі в поперечному перетині з використанням виведених формул. За

результатами аналізу з'ясовано, що параметр висоти в усіх випадках більший для плит з клиноподібними елементами, тобто верхня частина такої плити буде більш міцна. Планується в подальшому проводити лабораторні дослідження розроблених покриттів в лабораторних умовах.

Ключові слова: малорозмірні плити; покриття; клиноподібні елементи; висота; нижня основа.

Постановка проблеми. На протязі багатьох десятиліть найпоширенішим матеріалом верхнього шару, що використовуються при будівництві тротуарів, садово-паркових доріжок, прибудинкових територій, майданчиків та інших пішохідних зон, є малорозмірні плити з бетону (фігурні елементи мощення – ФЕМ) [1]. Такий вибір обґрунтований тим, що покриття з цього виробу є екологічно чистими, естетично привабливими [2]. Вони мають більш тривалий термін експлуатації в порівнянні, наприклад, з асфальтобетонними покриттями [3]. Однак, іноді можна зустріти різного типу дефекти в поверхнях пішохідних зон. До них відносяться тріщини, руйнування або зсув окремих елементів або цілих ділянок покриття, вигини, западини та провали [4]. Існує багато причин, внаслідок яких виникли ці пошкодження. Однією з них є невірне конструктивне рішення, яке було обране та застосоване при улаштуванні покриття. Тому, за нашою думкою, потрібно вдосконалювати конструкції пішохідних територій, збільшувати кількість їх варіантів, щоб надати фахівцям можливість підібрати оптимальне рішення покриття, яке, знаходячись під впливом тих чи інших факторів, буде мати тривалий безремонтний термін експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Малорозмірні бетонні плити, що широко використовуються при будівництві пішохідних зон, мають різні кольори, форми на плані та геометричні параметри, але нижня поверхня у них плоска [5]. Плити повинні бути з шорсткою поверхнею, яку іноді роблять з рифленим орнаментом із заглибленням до 3 мм. Товщина плит залежить від навантаження, що впливає на покриття, матеріалу основи, а також форми і розмірів в плані. Для покриттів майданчиків, пішохідних та садово-паркових доріжок, де не передбачений заїзд важкого автотранспорту, застосовують плити з класом бетону В22,5 та В25, товщиною 45-100 мм. Для запобігання пошкодженням, що виникають у таких дорожніх покриттях, розроблені декілька конструктивних рішень, де форма нижньої основи плит на відміну від традиційних плит з плоскою основою, є зміненою [6]. Запропоновані фігурні елементи мощення можуть мати змінену нижню основу: пірамідальної форми [7]; що складається із зубчастих елементів пірамідальної форми в кількості від одного і більше [8]; із зірчастих пірамідальних елементів в кількості від одного і більше; із ребристих призматичних елементів в кількості від одного і більше, при тому напрям твірних цих елементів у сусідніх плит має бути взаємно

перпендикулярним [9]; із одного пірамідального елемента, розташованого по центру та ребристих елементів по контуру. Розроблені конструктивні рішення мають багато переваг. Завдяки нахиленим площинам елементів, розташованим в нижній основі, яка контактує з нижче лежачим шаром дорожнього одягу, відбувається додаткове його ущільнення, що сприяє збільшенню несучої здатності покриття при впливі на нього вертикального навантаження, зменшенню осідання плити; зменшується горизонтальний зсув при впливі горизонтального навантаження від колісного транспорту. Для того, щоб не збільшувати затрати на бетон для елементів, розташованих в нижній основі, рекомендується знизити висоту плит так, щоб сумарний об'єм верхньої частини плити і елементів в нижній основі був таким самим, як і у аналогічних плит з плоскою основою. Але чим більший об'єм елементів нижньої основи, тим менше висота верхньої частини, а це може призвести до виникнення тріщин у плитах. Тому рекомендовано отримати такий баланс, щоб звести до зменшення витрати бетону на геометричні елементи в нижній основі, і таким чином максимально наблизити величину висоти верхньої частини плити до початкової. Наприклад, плити квадратної форми в плані зі стороною 120 мм, з трьома ребристими елементами в нижній основі в залежності від параметра кута при ребрі в поперечному перетині, (відносно традиційної плити з плоскою нижньою основою висотою 50 мм і такими ж формою і розмірами в плані), мають висоту бічної сторони при кутах: 60° – 3,26 мм, 90° – 40 мм, 120° – 4,42 мм.

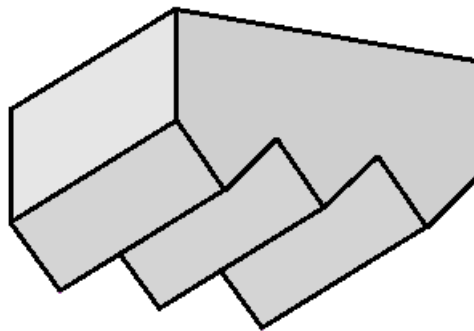


Рис. 1. Малорозмірна плита з трьома призматичними ребристими елементами в нижній основі

Звідси можна зробити висновок, що для збільшення висоти плит, нижня основа яких складається з ребристих елементів, потрібно або обирати плити зі збільшеним кутом при їх ребрі, або запропонувати іншу конструкцію нижньої основи плити.

Формулювання цілей та завдання статті. Метою роботи є підвищення якісних характеристик пішохідних зон шляхом розробки нового конструктивного рішення покриття, що складається з малорозмірних плит, які мають змінену геометричну форму нижньої

основи, та виведення формул для точного і швидкого розрахунку геометричних параметрів малорозмірних плит.

Основна частина. Першу частину поставленої задачі з розробки нового конструктивного рішення покриття розв'яжемо наступним чином. Пропонуємо на основі раніше розробленого варіанта покриття з малорозмірних плит, нижня поверхня яких складається з призматичних ребристих елементів, розробити нове, шляхом заміни цих ребристих елементів на елементи іншої форми. Для посилення верхньої частини плити шляхом збільшення її висоти, потрібно зменшити об'єм нижньої основи. Щоб зменшити об'єм ребристих елементів в нижній основі плит пропонується з обох їх боків зробити укуси, в результаті чого отримуємо клиноподібні елементи. Такі клиноподібні елементи можуть бути в кількості від одного, розташованого посередині нижньої основи, і більше, рис. 2.

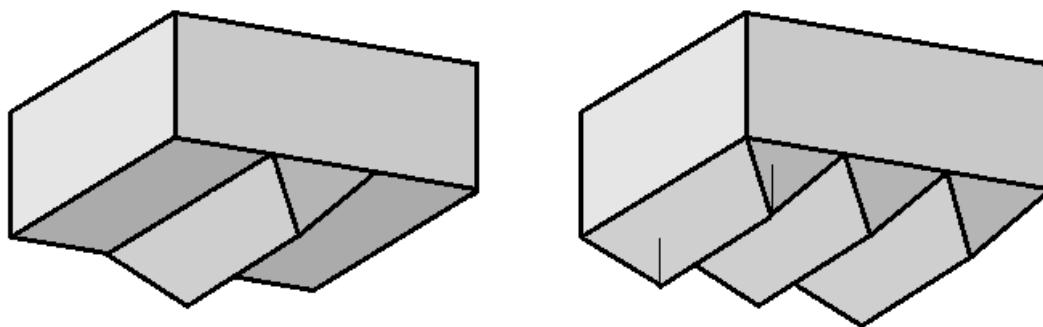


Рис. 2 Малорозмірні плити з одним та трьома клиноподібними елементами в нижній основі

За нашою думкою, покриття, виконані з малорозмірних плит з клиноподібними елементами в нижній основі, мають багато переваг відносно тих, що складаються з плит із плоскою нижньою основою. При впливі горизонтально прикладеного навантаження до покриття із плит з плоскою основою при неякісно побудованому жорсткому затисканні (або його відсутності) буде відбуватися горизонтальне переміщення відносно їх початкового положення, що призведе до руйнування пішохідних зон. Якщо застосувати плити, які мають в нижній основі клиноподібні елементи, то така геометрична форма буде запобігати горизонтальному зсуву. Завдяки клиноподібним елементам відбудеться додаткове ущільнення несучого шару дорожнього одягу (якщо він виконаний із дрібного сипучого матеріалу) та збільшиться величина площі нижньої основи, через яку передається вертикальне навантаження, що призведе до збільшення несучої здатності покриття і збільшення терміну безремонтного терміну служби, тобто покращяться його якісні характеристики.

Порівнюємо три варіанти покриття, що складається з плит квадратної форми у плані зі стороною 120 мм: у першому – традиційних плит з плоскою нижньою основою; у другому – із трьома ребристими призматичними елементами в нижній основі (їх торцеві поверхні розташовані вертикально), з кутом при ребрі в поперечному перетині 90° ; у третьому – з трьома клиноподібними елементами в нижній основі (тобто торцеві поверхні нахилені), з кутом при ребрі в поперечному перетині 90° і з нахилом торцевих площин 45° .

Поверхня нижньої основи, через яку передається вертикальне навантаження на нижче розташовані конструктивні шари, для першого варіанта є квадратом, для другого варіанта складається з шести нахилених прямокутників, а для третього варіанта (з трьох клинів, кожен з яких складається із двох трапецій та двох трикутників) – з шести нахилених трапецій та шести нахилених трикутників. За проведеними підрахунками, площа нижньої основи дорівнює: для першого варіанта 144 см^2 , для другого – $203,6 \text{ см}^2$, для третього – $203,4 \text{ см}^2$. Можна зробити висновок, що у другого та третього варіанта площа нижньої основи майже однакова, і приблизно в 1,4 рази більша, ніж у першого варіанта, тому другий і третій варіанти покриття витримають збільшене навантаження. Але перевага третього варіанту над другим у тому, що при горизонтально прикладеному навантаженні всі чотири нахилені площини (трапецієвидні і трикутні) кожного з клиноподібних елементів в нижній основі працюють на запобігання горизонтальному зсуву в усіх напрямках. Об'єм елементів нижньої основи у третього варіанта є меншим, ніж у другого. Так як для економії затрат на бетон об'єм запропонованої плитки не повинен бути більшим, ніж така сама плита, але з плоскою нижньою основою, то об'єм верхньої призматичної частини плити для третього варіанта буде більшим, ніж у другого. Тоді висота верхньої призматичної частини плити буде більшою у третього варіанта, ніж у другого, а це означає, що верхня частина у третього варіанта буде міцнішою. Але для точного та швидкого розрахунку параметрів висоти призматичної частини нових малорозмірних плит з клиноподібними елементами в їх нижній основі потрібно вивести необхідні формули, тобто розв'язати другу поставлену в цій роботі задачу. В цій роботі знайдемо формули для обчислення параметрів двох запропонованих конструкцій плит: з одним клиноподібним елементом, розташованим посередині нижньої основи та з трьома клиноподібними елементами.

Щоб вивести формули для розрахунку параметрів плити квадратної форми в плані з одним клиноподібним елементом в нижній основі, розглянемо запроповану раніше плиту з одним ребристим елементом, розташованим в середній третині нижньої основи плити, рис. 3.

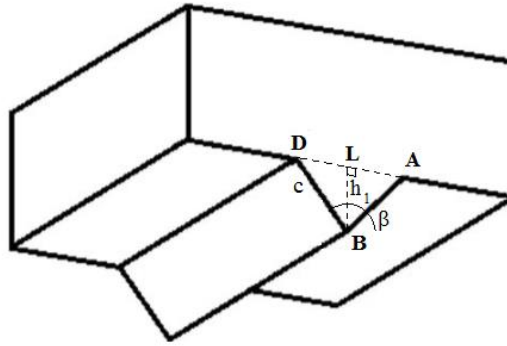


Рис. 3 Плита з одним ребристим елементом в нижній основі

Відповідно з попередньою статтею [10], маємо формулу для розрахунку висоти h_1 від нижньої основи плити до ребра:

$$h_1 = \frac{a}{6 \operatorname{tg} \beta / 2}, \quad (1)$$

де a – сторона квадрата, а β – кут при ребрі.

При $a = 12$ см ця формула запишеться у вигляді: $h_1 = \frac{2}{\operatorname{tg} \beta / 2} = 2c \operatorname{tg} \beta / 2$.

Крім того, з трикутника $\triangle LAB$ можна отримати ще одне важливе співвідношення для параметра c – ширини нахиленої сторони призматичного елемента:

$$c = \sqrt{\left(\frac{a}{6}\right)^2 + h_1^2}, \quad (2)$$

де при $a = 12$ см ця формула перетворюється до виду:

$$c = \sqrt{4 + h_1^2}. \quad (3)$$

При розгляданні плити з клиноподібними елементами, де торцеві трикутні площини є нахиленими на відміну від ребристих елементів, у яких вони вертикальні, задача ускладнюється.

Для зручності подальших обчислень, будемо розглядати зображення клиноподібного елемента окремо від верхньої частини плити (рис. 4). Розглянемо випадок, коли ці торцеві площини – трикутники $\triangle ABD$ та $\triangle KFP$, які є однаковими, мають кут нахилу 45° до горизонтальної площини. Слід звернути увагу, що після нахилення вертикальних торцевих площин точка B займе нове положення B' , а точка F перейде, відповідно, в F' .

Відокремлюючи дві однакові чотиригранні піраміди $ABDB'$ та $KFPF'$ від тригранної призми $ABDKFP$, отримуємо клиноподібний елемент $AB'DKFP$. Цей клиноподібний елемент можна умовно поділити на три тіла: дві чотиригранні рівновеликі піраміди ($F'KMRP$ і $B'ADEL$) та одну тригранну призму ($B'ELMRF'$).

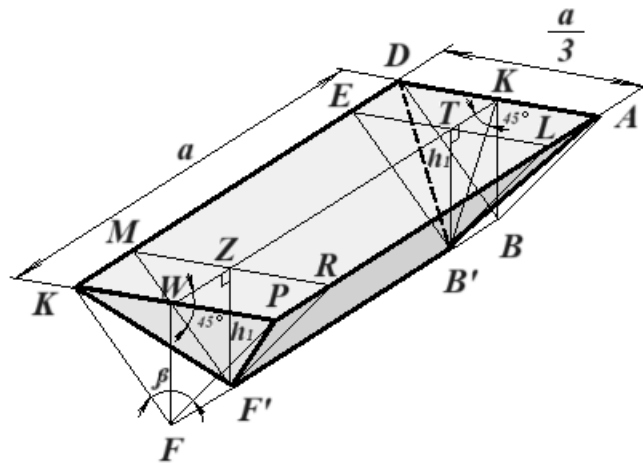


Рис. 4. Окремо виділений клиноподібний елемент

Знайдемо параметр l – довжину (AB' або DB') нахиленої бічної грані $AB'D$ чотиригранної піраміди $B'ADEL$. Так як трикутник $\Delta B'TK$ – прямокутний, а $\angle B'KT = 45^\circ$, то трикутник, що розглядається є рівнобедреним. Таким чином, $h_1 = B'T = TK$, а гіпотенуза цього трикутника, в свою чергу, буде дорівнювати: $KB' = F'W = h_1\sqrt{2}$. Відповідно до Рис. 4, $AK = \frac{a}{6}$, звідси отримуємо ще одну формулу:

$$l = \sqrt{2h_1^2 + \frac{a^2}{36}}, \quad (4)$$

де при $a = 12$ см ця формула перетворюється до виду:

$$l = \sqrt{2h_1^2 + 4}. \quad (5)$$

Крім того, за допомогою нескладних перетворень, параметр l можна виразити і безпосередньо через половинний кут β :

$$l = \frac{a}{6} \sqrt{\frac{2}{\text{tg}^2 \beta / 2} + 1} = \frac{a}{6} \sqrt{2 \text{ctg}^2 \beta / 2 + 1}, \quad (6)$$

де при $a = 12$ см ця формула перетворюється до виду:

$$l = 2 \sqrt{2 \text{ctg}^2 \beta / 2 + 1}. \quad (7)$$

При створенні моделі такої тротуарної плитки може бути корисним ще один параметр – ширина d (наприклад, $B'L$ або $B'E$) нахиленої грані призматичного елемента. З трикутника $\Delta EB'L$ знайдемо додаткове співвідношення:

$$d = \sqrt{h_1^2 + \frac{a^2}{36}}.$$

При $a = 12$ см, отримуємо, що $d = \sqrt{h_1^2 + 4}$.

Для подальших обчислень потрібно визначити об'єм всієї плити з одним клиноподібним елементом в нижній основі. Спочатку знайдемо об'єм клиноподібного елемента. Сумарний об'єм двох пірамід, розташованими з двох боків від призматичної частини клиноподібного елемента, виражається формулою:

$$V_{\text{пір.}} = \frac{2}{9} ah_1^2. \quad (8)$$

Далі знайдемо об'єм призматичної частини ($B'ELMRF'$) клиноподібного елемента. Так як $RL = a - 2h_1$, то площа трикутної основи призми $B'EL$ виразиться формулою: $S_{\Delta} = \frac{ah_1}{6}$. Тоді об'єм призматичної частини фігури, що розглядається, отримує вид:

$$V_{\text{приз.}} = \frac{1}{6} (a - 2h_1) ah_1. \quad (9)$$

В свою чергу, об'єм клиноподібного елемента можна записати наступним чином: $V_{\text{кл.}} = V_{\text{пір.}} + V_{\text{приз.}}$, або:

$$V_{\text{кл.}} = \frac{ah_1}{18} (3a - 2h_1). \quad (10)$$

Об'єм всієї плити з одним клиноподібним елементом запишемо у вигляді $V_{\text{пл.1}} = V_{\text{кл.}} + V_{\text{осн.}}$, де $V_{\text{осн.}} = a^2 b_1$:

$$V_{\text{пл.1}} = a \left[\frac{h_1}{9} (a - h_1) + ab_1 \right]. \quad (11)$$

З метою економії бетонної суміші, що йде на виготовлення плити квадратної форми в плані з одним клиноподібним елементом в нижній основі, потрібно, щоб її об'єм $V_{\text{пл.1}}$ був рівним об'єму V традиційної плити (з такою ж формою і розмірами в плані, з плоскою нижньою основою), де $V = a^2 b$.

Прирівнюючи ці об'єми між собою, маємо рівняння:

$$\left[\frac{h_1}{9} (a - h_1) + ab_1 \right] = a^2 b.$$

Далі з цього рівняння отримуємо величину b_1 – товщину верхньої призматичної частини плити, та маємо рівняння:

$$b_1 = b - \frac{h_1}{9} \left(1 + \frac{h_1}{a} \right). \quad (12)$$

Для випадку, коли параметри традиційної плити дорівнюють $a = 12$ см, а $b = 5$ см, отримуємо ще одну важливу залежність:

$$b_1 = 5 - \frac{h_1}{9} \left(1 + \frac{h_1}{12} \right). \quad (13)$$

Обчислимо параметри декількох плит з одним клиноподібним елементом в нижній основі, коли кути при ребрі в поперечному перетині дорівнюють:

$$\beta = 45^\circ; 60^\circ; 90^\circ; 120^\circ.$$

1. $\beta = 45^\circ$:

$$h_1 \approx 4,83 \text{ см}; l \approx 7,12 \text{ см}; d \approx 5,23 \text{ см}; b_1 \approx 4,25 \text{ см}.$$

2. $\beta = 60^\circ$:

$$h_1 \approx 3,46 \text{ см}; l \approx 5,29 \text{ см}; d \approx 4 \text{ см}; b_1 \approx 4,5 \text{ см}.$$

3. $\beta = 90^\circ$:

$$h_1 \approx 2 \text{ см}; l \approx 3,46 \text{ см}; d \approx 2,83 \text{ см}; b_1 \approx 4,74 \text{ см}.$$

4. $\beta = 120^\circ$:

$$h_1 \approx 1,15 \text{ см}; l \approx 3,16 \text{ см}; d \approx 2,31 \text{ см}; b_1 \approx 4,86 \text{ см}.$$

Розглянемо конструктивне рішення, коли в нижній основі плити розташовані три клиноподібні елемента. В цьому випадку всі раніше

виведені формули зберігають свою силу, крім формули для розрахунку об'єму всієї плити. Знайдемо її.

З формули (8) отримуємо:

$$3V_{\text{пір.}} = \frac{2}{3} ah_1^2. \quad (14)$$

З формули (9):

$$3V_{\text{приз.}} = \frac{1}{2} (a - 2h_1) ah_1. \quad (15)$$

Тоді загальний об'єм трьох клиноподібних елементів можна виразити наступним чином:

$$3V_{\text{кл.}} = ah_1 \left(\frac{a}{2} - \frac{h_1}{3} \right). \quad (16)$$

Загальний об'єм плити з трьома клиноподібними елементами в нижній основі представимо у виді:

$$V_{\text{пл.з}} = a \left[h_1 \left(\frac{a}{2} - \frac{h_1}{3} \right) + ab_1 \right]. \quad (17)$$

По аналогії з формулою (12), отримуємо b_1 – висоту верхньої частини плити з трьома клиноподібними елементами:

$$b_1 = b - h_1 \left(\frac{1}{2} - \frac{h_1}{3a} \right). \quad (18)$$

Відносно габаритних розмірів традиційної плити, коли $a = 12$ см, $b = 5$ см, отримуємо наступну залежність:

$$b_1 = 5 - h_1 \left(\frac{1}{2} - \frac{h_1}{36} \right). \quad (19)$$

Аналогічно з попередніми розрахунками, визначимо висоту верхньої частини плити з трьома клиноподібними елементами при випадках, коли кути при ребрі мають значення: $\beta = 45^\circ; 60^\circ; 90^\circ; 120^\circ$.

1. Для $\beta = 45^\circ - b_1 \approx 3,23$ см.
2. Для $\beta = 60^\circ - b_1 \approx 3,6$ см.
3. Для $\beta = 90^\circ - b_1 \approx 4,11$ см.
4. Для $\beta = 120^\circ - b_1 \approx 4,46$ см.

За результатами розрахунків бачимо, що висота верхньої частини плити збільшується при збільшенні кута при ребрі, тому такі плити доцільніше застосовувати у будівництві.

Порівняємо параметри висоти бічної сторони для двох варіантів плит: в першому варіанті – з трьома ребристими пірамідальними елементами в нижній основі та в другому варіанті – з трьома клиноподібними елементами. При куті $\beta = 60^\circ$: у першому варіанті $b_1 \approx 3,26$ см, у другому – $b_1 \approx 3,6$ см; при куті $\beta = 90^\circ$: у першому варіанті $b_1 \approx 4$ см, у другому – $b_1 \approx 4,11$ см; при куті $\beta = 120^\circ$: у першому варіанті $b_1 \approx 4,42$ см, у другому – $b_1 \approx 4,46$ см. В результаті порівнянь видно, що при однакових кутах при ребрі у плит з трьома клиноподібними елементами висота верхньої частини плити більша, ніж у плит з трьома ребристими пірамідальними елементами. Тому можна рекомендувати покриття з плит, що мають клиноподібні елементи в нижній основі, для проведення подальших лабораторних досліджень з метою визначення параметрів їх

осідання та зсуву при впливі на них вертикальних та горизонтальних навантажень, а також порівняння результатів експериментів з тими, що були отримані при дослідженні раніше розроблених покриттів.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Розроблені нові конструктивні рішення покриттів пішохідних зон з малорозмірних плит, в нижній основі яких розташовані клиноподібні елементи.

2. Висунуті гіпотези щодо переваг запропонованих покриттів.

3. Виведені формули для розрахунку геометричних параметрів двох конструкцій плит: з одним клиноподібним елементом, розташованим в середній третині нижньої основи, та з трьома клиноподібними елементами. Отримані формули можна використовувати для зручного і швидкого розрахунку параметрів як при виготовленні дослідних зразків запропонованих форм для проведення лабораторних експериментів, так і при виготовленні малорозмірних плит для безпосереднього застосування їх у будівництві пішохідних зон.

Надалі планується за розрахованими показниками виготовити поперше гіпсові моделі дослідних зразків; по -друге, за допомогою їх зробити силіконові форми для подальшого виготовлення дослідних зразків з бетону. Ділянки зі зразками плит будуть випробувані під дією вертикально та горизонтально прикладеного навантаження.

Література

1. *Burak R. J., Eng P.* Construction details and guide specifications for interlocking concrete pavement. Montreal, Quebec: INFRA, 2002. 16 p.
2. Guidelines for the use of interlocking concrete block pavement : The Indian Roads Congress. / L.R.Kadiyali and others ; by convener L.R.Kadiyali. New Delhi: India Offset Press, 2004. 36 p.
3. Guidance notes on design and construction of pavements with paving units. Research & Development Division of Highways Department, RD/GN/044A, September 2017, 66 p.
4. Catalogue of Road Defects. Research & Development Division of Highways Department, RD/GN/015, January 2013, pp. 42-45.
5. ДСТУ Б В.2.7.-238:2010. Плити бетонні тротуарні. [Чинний з 2012-01-01]. Вид. офіц. Київ, Мінрегіонбуд України, 2011. 27 с.
6. *Azman M., Hasanan M. N., Mohd R. H., Haryati Y., Che R. I., and Nur Hafizah A. K.* The Effect of Groove-Underside Shaped Concrete Block on Pavement Permanent Deformation. *Jurnal Teknologi Sciences & Engineering*. 2013. Vol. 61:3. P. 7–14.
7. *Думанська В. В.* Вдосконалення технології улаштування покриттів з фігурних елементів мостіння : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 2011. 20 с.

8. Dumanska V., Vilinska L., and Marchenko V. Studies of coatings from FEP with corrugated base from toothed elements of pyramidal shape on the horizontal and inclined surfaces. *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2017. № 1 (48). P. 265–272.
9. Dumanska V., Kalinin O., Sidorova N., and Kalinina T. Study of pavements of concrete paving blocks with ribbed underside surface. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 864. P. 101-107.
10. Думанська В.В., Назаренко О.А. Розрахунок параметрів малорозмірних елементів покриттів пішохідних доріжок та майданчиків зі зміненою нижньою основою. *Прикладні питання математичного моделювання*. ХНТУ, 2023. Т. 6, № 1. С. 30-36.

References

1. Burak, R. J., & Eng, P. (2002). Construction details and guide specifications for interlocking concrete pavement. Montreal, Quebec: INFRA. {in English}
2. Guidelines for the use of interlocking concrete block pavement : The Indian Roads Congress. / L.R.Kadiyali and others ; by convener L.R.Kadiyali. New Delhi: India Offset Press, 2004. 36 p. {in English}
3. Guidance notes on design and construction of pavements with paving units. Research & Development Division of Highways Department, RD/GN/044A, September 2017, 66 p. {in English}
4. Catalogue of Road Defects. Research & Development Division of Highways Department, RD/GN/015, January 2013, pp. 42-45. {in English}
5. DSTU B V.2.7.-238:2010. Plyty betonni trotuarni. [Chynnyi z 2012-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy, 2011. 27 s. {in Ukrainian}
6. Azman, M., Hasanan, M. N., Mohd, R. H., Haryati, Y., Che, R. I., & Nur Hafizah, A. K. (2013) The Effect of Groove-Underside Shaped Concrete Block on Pavement Permanent Deformation. *Jurnal Teknologi Sciences & Engineerin*, 61:3, 7–14. {in English}.
7. Dumanska, V. V. (2011). Vdoskonalennia tekhnolohii ulashtuvannia pokryttiv z fihurnykh elementiv mostinnia [Improvement of the technology unit of coatings of figured paving elements]. (Extended abstract of candidate's thesis). Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Odesa {in Ukrainian}.
8. Dumanska, V., Vilinska, L., & Marchenko, V. (2017). Studies of coatings from FEP with corrugated base from toothed elements of pyramidal shape on the horizontal and inclined surfaces. *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1 (48), 265–272. {in English}.
9. Dumanska, V., Kalinin, O., Sidorova, N., & Kalinina, T. (2020). Study of pavements of concrete paving blocks with ribbed underside surface. *Key Engineering Materials*, 864, 101-107. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.864.101. {in English}

10. Dumanska V. & Nazarenko O.A. Rozrakhunok parametriv malorozmirnykh elementiv pokryttiv pishokhidnykh dorizhok ta maidanchykyv zi zminenoiu nyzhnoi u osnovoiu. *Prykladni pytannia matematychnoho modeliuвання*. KhNTU, 2023. T. 6, № 1. S. 30-36. {in Ukrainian}

Doctor of Philosophy, Associate Professor **Veronika Dumanska**
Doctor of Philosophy, Associate Professor **Oleh Nazarenko**
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture
Doctor of Philosophy, Associate Professor **Angela Stekhun**
Odesa I. I. Mechnikov National University

NEW COVERINGS OF PEDESTRIAN AREAS OF SMALL-SIZED PAVING BLOCKS WITH WEDGE-SHAPED ELEMENTS IN THE LOWER BASE

The article is devoted to the development of new optimal constructive solutions for covering areas, garden and park paths, residential areas and other pedestrian zones. In order to improve the quality characteristics, new options of coatings are proposed, which consist of small-sized paving blocks, the lower surface of which has wedge-shaped elements. Such coatings, in contrast to traditional ones, which consist of paving blocks with a flat lower base, have many advantages. The proposed form of the lower base of the paving blocks will lead to an increase in the bearing capacity of the coating and an increase in its maintenance-free service life. Through the lower base of the increased area, an increased vertical load will be transmitted to the lower load-bearing layers of road clothing. The wedge-shaped form of the elements contributes to the additional compaction of the lower layers located under the coating during the laying of the paving blocks, and the inclined faces of the wedge-shaped elements will prevent the horizontal shift of the blocks. The article considers two options for covering, consisting of paving blocks of a square shape in plan, in the middle third of the lower base of which one wedge-shaped element is located in the first option, and with three wedge-shaped elements in the lower base in the second option. In order not to increase the consumption of concrete for wedge-shaped elements, it is recommended to reduce the height of the side so that the volume of the new blocks is equal to the volume of the same blocks in terms of shape and dimensions in plan, but with a flat base. This is achieved by reducing the height of the side of the upper part of the paving block. For the production of test samples or paving blocks directly for construction according to the developed options, formulas are derived for quick and convenient calculation of their parameters. A comparative analysis of the side height parameter of the proposed paving blocks with three wedge-shaped elements in the lower base and the previously developed paving blocks with three prismatic elements in the lower base at several values of the angles at the lower edge in the cross section using the derived formulas was carried out. Based on the results of the analysis,

it was found that the height parameter in all cases is greater for paving blocks with wedge-shaped elements, that is, the upper part of such a block will be stronger. It is planned to carry out laboratory studies of the developed coatings in laboratory conditions in the future.

Keywords: Small-sized paving blocks; covering; wedge-shaped elements; height; lower base.