

В.В. ДУМАНСЬКА, О.А. НАЗАРЕНКО
Одеська державна академія будівництва та архітектури

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАЛОРОЗМІРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОКРИТТІВ ПІШОХІДНИХ ДОРІЖОК І МАЙДАНЧИКІВ ЗІ ЗМІНЕНОЮ НИЖНЬОЮ ОСНОВОЮ

Одним із найбільш поширених рішень улаштування пішохідних доріжок, майданчиків, прибудинкових територій є застосування покриттів, що складаються з малорозмірних неармованих бетонних плит. Такий вибір пов'язаний з екологічною чистотою, естетичною привабливістю покриттів, можливістю їх легкого розбирання й заміни зруйнованих елементів. Для запобігання деформаціям у дорожньому одязі з малорозмірних плит запропоновано використовувати плити, що виконані за новими конструктивними рішеннями, а саме, на відміну від традиційних плит із плоскою нижньою основою, застосовувати плити зі зміненою геометричною основою. Проведені раніше дослідження вказують на те, що використання запропонованих покриттів зумовить покращення їх якісних характеристик. Але для виготовлення плит за новими конструктивними рішеннями потрібно попередньо розрахувати їх параметри.

У роботі розглянуті два варіанти моделей плит із квадратною формою в плані, але зі зміненою нижньою геометричною основою. У першому варіанті нижня основа складається з трьох ребристих призматичних елементів, у другому – з п'яти чотиригранних пірамідальних елементів, розташованих у шаховому порядку. Для запобігання додатковим витратам на бетон за рахунок зміненої нижньої основи пропонується залишити об'єм таким самим, як і для аналогічної традиційної плити з плоскою основою, з однаковими розмірами й формою в плані, але знизити об'єм верхньої призматичної частини плити на величину об'єму нижньої основи за рахунок зменшення висоти її бічної сторони. Для зручного і швидкого проведення розрахунків параметрів малорозмірних плит із ребристою та рифленою (з пірамідальних елементів) нижньою основою виведено універсальні формули, які пов'язують між собою параметри висот, довжини ребер, кутів при вершині в поздовжньому перетині й кутів нахилу елементів нижньої основи, а також габаритних розмірів плит у плані. Отримані формули перевірено для з'ясування параметрів розглянутих моделей плит при трьох випадках кутів (120° , 90° , 60°) при вершинах у поздовжньому перетині. Результати розрахунків параметрів збіглися з тими, що проведені за допомогою традиційних методів обчислення. Розроблені формули можна застосовувати для отримання параметрів двох запропонованих варіантів плит квадратної форми в плані за будь-яких значень сторони квадрата й кутів при вершині в поздовжньому перетині елементів нижньої основи.

Ключові слова: малорозмірні бетонні тротуарні плити, нижня основа, ребристий призматичний елемент, пірамідальний елемент, висота призматичної частини.

V.V. DUMANSKA, O.A. NAZARENKO
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

CALCULATION OF PARAMETERS OF SMALL-SIZED PAVEMENT ELEMENTS OF FOOTPATHS AND AREAS WITH A MODIFIED UNDERSIDE SURFACE

One of the most common solutions for the construction of footpaths, areas, adjacent territories is the use of coatings consisting of small-sized unreinforced concrete paving blocks. This choice is associated with environmental cleanliness, aesthetic appeal of coatings, the possibility of their easy disassembly and replacement of destroyed elements. To prevent deformations in pavement made of small-sized paving blocks, it was proposed to use blocks made according to new design solutions, namely, in contrast to traditional paving blocks with a flat underside surface, use paving blocks with a modified geometric base. Previous experiments indicate that the use of the proposed pavements will lead to an improvement in their qualitative characteristics. But for the manufacture of plates according to new design solutions, it is necessary to first calculate their parameters.

The paper considers two variants of square-shaped paving block models in plan, but with a modified lower geometric base. In the first version, the underside surface consists of three ribbed prismatic elements, in the second, of five tetrahedral pyramidal elements arranged in a checkerboard pattern. To prevent additional costs due to the modified underside surface, it is proposed to leave the volume the same as for a similar traditional paving block with a flat base with the same dimensions and shape in plan, but reduce the volume of the upper prismatic part of the paving block by the volume of the underside surface by reducing its height lateral side. For convenient and quick calculations of the parameters of small-sized paving blocks with ribbed and corrugated (from pyramidal elements) underside surface, universal formulas have been derived that relate the parameters of heights, rib lengths, angles at the vertex in the longitudinal section

and inclination angles of the elements of the underside surface, as well as overall dimensions of the paving blocks in plan. The obtained formulas are verified to determine the parameters of the considered plate models for three cases of angles (120° , 90° , 60°) at the vertices in the longitudinal section. The results of parameter calculations coincided with those that were carried out using traditional calculation methods. The developed formulas can be used to obtain the parameters of the proposed two variants of square-shaped paving blocks in plan for any values of the side of the square and the angles at the vertex in the longitudinal section of the elements of the underside surface.

Key words: small-sized concrete paving blocks, underside surface, ribbed prismatic element, pyramidal element, height of the prismatic part.

Постановка проблеми

Останніми роками по всьому світу велике значення приділяється якості й надійності дорожнього одягу населених пунктів. Покриття з малорозмірних елементів для будівництва доріжок, майданчиків та інших пішохідних територій мають багато переваг над асфальтобетонними. Але іноді в цих покриттях виникають різного типу руйнування, що потребує проведення пошуків нових конструктивних рішень.

Запропоновано декілька варіантів конструктивних рішень із плит, що мають змінену геометричну основу (рифлену із зубчастих пірамідальних елементів і ребристу з призматичних елементів). Для проведення лабораторних експериментів, натурних досліджень із застосуванням покриттів, виконаних за новими варіантами, і подальшого їх упровадження у виробництво потрібне отримання додаткових габаритних параметрів запропонованих плит. Безпомилковий розрахунок параметру висоти бічної сторони кожної з моделей потребує уваги й витрат певної кількості часу. Тому постало питання знаходження формул для зручного, швидкого й точного обчислення необхідного параметру залежно від моделі плити зі зміненою геометричною нижньою основою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Покриття доріг є одним із ключових елементів благоустрою міст. На вибір конструктивного рішення покриття впливає багато факторів, наприклад, категорія вулиці (дороги), максимальна величина вертикально прикладеного навантаження, кліматичні умови, характеристики ґрунтів тощо. До пішохідних доріг і майданчиків висуваються вимоги стосовно екологічності, естетичної привабливості, функціональності, міцності й довговічності. Оптимальним варіантом конструктивно-технологічного рішення, що задовольняє цим вимогам, є рішення, за якого верхній шар дорожнього одягу виконаний із малорозмірних плит, до яких належать фігурні елементи мостіння (ФЕМ) [1]. Ці елементи виготовляють із бетону, який є екологічно чистим матеріалом. Елементи можуть бути різноманітних форм, товщин і розмірів у плані, мати різнокольорове забарвлення, а це дає змогу влаштовувати покриття різних орнаментів і форм, що робить населені пункти більш привабливими для мешканців і гостей цих міст.

Під час експлуатації покриттів на них впливають вертикально й горизонтально спрямовані навантаження. За неправильних умов експлуатації пішохідних доріжок і майданчиків відбувається їх руйнування. Однією з причин таких дефектів є неправильно обране конструктивне рішення покриття. Під час візуального обстеження покриттів пішохідних зон із ФЕМ (як у населених пунктах України, так і за кордоном) у деяких випадках спостерігалися деформації, до яких належать зсув, западини, розхитування, тріщини, руйнування окремих елементів або цілих ділянок покриття (рис. 1, 2). Для запобігання зсуву традиційних плит стосовно початкового положення по периметру ділянки покриття потрібно передбачати жорстке затискання, наприклад, за допомогою бортів чи бордюрів. Але ці фіксуючі елементи під дією навантажень можуть розхитуватися, що призводить до руйнування покриттів. Вплив вертикальних навантажень, набагато більших, ніж розрахункові, призводить до осідання елементів покриття, виникнення в них тріщин тощо.



Рис. 1. Деформації ділянки тротуару з малорозмірних плит, Болгарія, Сонячний берег



Рис. 2. Руїнування ділянки тротуару з фігурних елементів мостіння, Польща, м. Косцян

Для підвищення несучої здатності й зменшення горизонтального зсуву та відхилень від проектного положення елементів верхнього шару дорожнього одягу запропоновано під час улаштування покриттів, замість традиційних плит із плоскою основою, використовувати плити зі зміненою геометричною формою нижньої основи [2; 3].

Одним із варіантів покриттів є такі, у яких нижня основа плит складається з ребристих (рис. 3) або пірамідальних (рис. 4) елементів. У разі збільшення площі нижньої основи плита може сприймати та передавати навантаження на збільшений об'єм нижче розташованих шарів дорожнього одягу, тобто зростає несуча здатність покриття [3; 4]. Форма нижньої основи призводить до додаткового ущільнення дрібнозернистих шарів одягу під покриттями, що також сприяє збільшенню несучої здатності. Змінена форма основи буде перешкоджати горизонтальному зсуву плит покриття в разі впливу на них горизонтального навантаження від колісного транспорту [5].



Рис. 3. Експериментальний зразок плити з трьома ребристими призматичними елементами в нижній основі

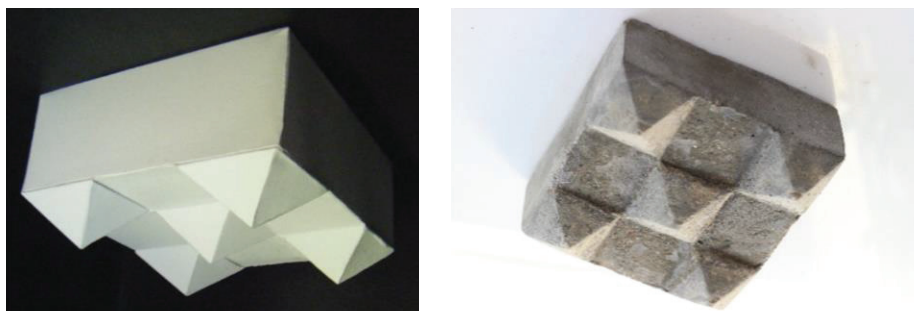


Рис. 4. Зовнішній вигляд моделі плити з п'ятьма зубчастими елементами в нижній основі (макет з паперу й експериментальний зразок із бетону)

Для запобігання додатковим витратам на бетон (за рахунок збільшеного об'єму нижньої основи) об'єм запропонованих елементів покриття повинен бути не більшим, ніж об'єм для виготовлення традиційних плит із плоскою основою з такими самими розмірами й формою в плані. Завдання можна вирішити шляхом зменшення висоти бічної грані елементів мостіння. Але для отримання цього параметра для тої чи іншої запропонованої моделі буде витрачено багато часу для проведення ретельних розрахунків. Тому потрібно знайти більш зручний спосіб для легкого і швидкого обчислення параметра висоти бічної поверхні бетонних плит зі зміненою геометричною формою нижньої основи.

Мета дослідження

Метою дослідження є отримання універсальних формул для обчислення габаритних параметрів малорозмірних плит із ребристою (із призматичних елементів) і рифленою (з пірамідальних елементів) нижньою основою для покриттів пішохідних територій.

Завдання досягається шляхом пошуку залежності між собою параметрів висот бічної поверхні малорозмірних плит, довжини ребер, кутів при вершині в поздовжньому перетині, кутів нахилу елементів нижньої основи, а також габаритних розмірів плит у плані.

Виклад основного матеріалу дослідження

Перед нами постало питання пошуку формули для зручного розрахунку висоти бічної сторони плиток зі зміненою геометричною основою за умови, що об'єм запропонованих плиток має бути таким, як і традиційна плитка з такою самою формою та розмірами в плані. Зрозуміло, щоб задовольняти цій умові, висота бічної сторони запропонованих моделей має бути зменшена.

Розглянемо два варіанти плит покриття, запропонованих раніше: з ребристою нижньою основою з трьома призматичними елементами (рис. 5) і з рифленою нижньою основою з п'ятьма пірамідальними елементами (рис. 6). У плані вони мають форму квадрата. Товщина традиційних фігурних елементів (із плоскою основою), згідно з ДСТУ Б В.2.7–238:2010, може бути прийнятою від 5 до 10 см, що залежить від матеріалу шару основи під покриттями доріг і майданчиків, навантаження на дорожній одяг тощо.

Позначимо габаритні розміри, де a – сторона квадрата, b – висота бічної сторони (без урахування зміненої нижньої основи). Виберемо як приклад традиційну плитку зі стороною квадрата в плані 12 см і висотою бічної сторони 5 см. Тоді об'єм бетону, необхідний для виготовлення такої плитки, розрахуємо за такою формулою (1):

$$V = 5 \cdot 12 \cdot 12 = 720 \text{ см}^3; \quad b = 5 \text{ см}; \quad a = 12 \text{ см}. \quad (1)$$

Розглянемо перший варіант – модель плитки з ребристою нижньою основою з трьома призматичними елементами (рис. 5). Розрахуємо її габаритні розміри. При цьому будемо припускати, що $a = \text{const}$ і V – витрата бетону = const , тоді:

$$b = 5 - \frac{a}{12 \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (2)$$

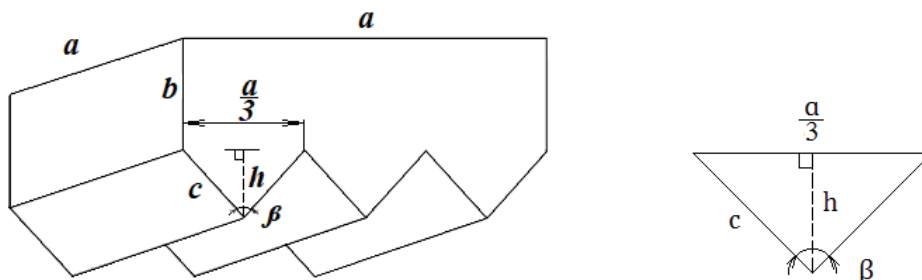


Рис. 5. Розрахункові параметри моделі плити квадратної форми в плані з трьома призматичними ребристими елементами в нижній основі

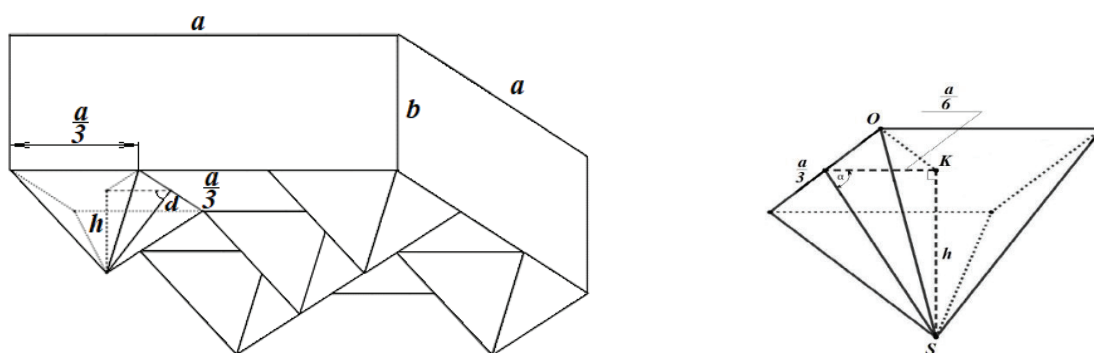


Рис. 6. Розрахункові параметри моделі плити квадратної форми в плані з п'ятьма пірамідальними елементами в нижній основі

Обчислимо такі габаритні розміри моделі плитки з ребристою основою:

$$h = \frac{a}{6 \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)}, \quad (3)$$

$$c = \frac{a}{6 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (4)$$

Отримані формули є універсальними для будь-яких кутів β .

Розглянемо три окремі випадки:

1) $\beta = 120^\circ$

$$h = \frac{12}{6\sqrt{3}} \approx 1,15 \text{ см}; \quad c = \frac{4}{\sqrt{3}} \approx 2,31 \text{ см}; \quad b = 5 - \frac{12}{12\sqrt{3}} \approx 4,42 \text{ см};$$

2) $\beta = 90^\circ$

$$h = \frac{12}{6} = 2 \text{ см}; \quad c = \frac{4}{\sqrt{2}} \approx 2,83 \text{ см}; \quad b = 5 - \frac{12}{12 \cdot 1} = 4 \text{ см};$$

3) $\beta = 60^\circ$

$$h = \frac{12 \cdot 3}{6\sqrt{3}} = 3,46 \text{ см}; \quad c = 2 \cdot 2 = 4 \text{ см}; \quad b = 5 - \frac{3}{\sqrt{3}} \approx 3,26 \text{ см}.$$

Розглянемо другий варіант – модель плитки з рифленою нижньою основою з п'ятьма зубчастими елементами пірамідальної форми, розташованими в шаховому порядку (рис. 6). Основа кожної з п'ятьох пірамід має форму квадрата зі стороною $a/3$ та кутом нахилу бічних граней до основи α .

Користуючись позначеннями з попереднього розрахунку, отримуємо такі формули:

$$b = 5 \left(1 - \frac{a \cdot \operatorname{tg} \alpha}{162} \right), \quad (5)$$

$$h = \frac{a \cdot \operatorname{tg} \alpha}{6}. \quad (6)$$

Бічні ребра кожного з пірамідальних елементів дорівнюють:

$$|OS| = \frac{a}{6} \sqrt{2 + \operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (7)$$

Розглянемо окремі випадки розрахунку висоти бічної сторони моделі із зубчастих елементів пірамідальної форми при $a = 12$ см і куті при вершині піраміди у вертикальному перетині β 120° , 90° і 60° . З'ясуємо висоту піраміди $h = |SK|$, розрахуємо довжину бічного ребра піраміди $|OS|$ та обчислимо висоту бічної сторони b кожної з моделей плиток:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 30^\circ (\beta = 120^\circ): \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{3} \approx 1,15 \text{ см} \\ \alpha = 45^\circ (\beta = 90^\circ): 2 \text{ см} \\ \alpha = 60^\circ (\beta = 60^\circ): 2 \cdot \sqrt{3} \approx 3,46 \text{ см} \end{array} \right\} h = |SK|;$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 30^\circ (\beta = 120^\circ): 2 \cdot \sqrt{\frac{7}{3}} \approx 3,06 \text{ см} \\ \alpha = 45^\circ (\beta = 90^\circ): 2 \cdot \sqrt{3} \approx 3,46 \text{ см} \\ \alpha = 60^\circ (\beta = 60^\circ): 2 \cdot \sqrt{5} \approx 4,47 \text{ см} \end{array} \right\} |OS|;$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 30^\circ (\beta = 120^\circ): 5 \left(1 - \frac{12 \cdot \sqrt{3}}{162 \cdot 3} \right) \approx 4,79 \text{ см} \\ \alpha = 45^\circ (\beta = 90^\circ): 5 \left(1 - \frac{12}{162} \cdot 1 \right) \approx 4,63 \text{ см} \\ \alpha = 60^\circ (\beta = 60^\circ): 5 \left(1 - \frac{12}{162} \cdot \sqrt{3} \right) \approx 4,36 \text{ см} \end{array} \right\} b.$$

Результати розрахунків параметра висоти бічної сторони плит зі зміненою основою за запропонованими формулами порівняли з тими самими параметрами, але отриманими під час розрахунку за традиційним методом (коли від значення об'єму плитки з пласкою основою віднімаємо знайдений об'єм елементів нижньої основи й отримане число ділимо на площу верхньої основи плитки). З'ясовано, що отримані параметри є однаковими, що дає змогу рекомендувати виведені формули для проведення розрахунків малорозмірних плит квадратної форми у виробництво.

Висновки

У статті розглянуто два варіанти покриттів пішохідних територій із малорозмірних плит, нижня основа яких складається в першому варіанті з трьох призматичних, а в другому з п'яти пірамідальних елементів. Виведено універсальні формули для зручного обчислення висоти бічної сторони й ребра основи двох варіантів моделей плит. Отримані формули пов'язують між собою параметри висот, довжини ребер, кутів нахилу елементів, що розташовані в нижній основі, і габаритні розміри плит у плані.

Список використаної літератури

1. Burak R.J., Eng P. Construction details and guide specifications for interlocking concrete pavement. Montreal, Quebec : INFRA, 2002. 16 p.
2. The Effect of Groove-Underside Shaped Concrete Block on Pavement Permanent Deformation / M. Azman et al. *Jurnal Teknologi Sciences & Engineering*. 2013. Vol. 61. Is. 3. P. 7–14.
3. 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.
4. Study of pavements of concrete paving blocks with ribbed underside surface / V. Dumanska et al. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 864. P. 101–107.
5. Dumanska V., Vilinska L., 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.

References

1. Burak, R.J. & Eng, P. (2002). Construction details and guide specifications for interlocking concrete pavement. Montreal, Quebec: INFRA. [in English]
2. 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*. Vol. 61. Is. 3. P. 7–14. [in English]
3. 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]
4. Dumanska, V., Kalinin, O., Sidorova, N. & Kalinina, T. (2020). Study of pavements of concrete paving blocks with ribbed underside surface. *Key Engineering Materials*. Vol. 864. P. 101–107. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.864.101 [in English]
5. 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*. Vol. 1(48). P. 265–272. [in English]

Думанська Вероніка Валентинівна – к.т.н., доцент кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: dumanika@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0135-9501.

Назаренко Олег Аскольдович – к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри вищої математики Одеської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: gelo.fabric@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0405-6522.

Dumanska Veronika Valentinivna – Ph.D. (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics of the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: dumanika@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0135-9501.

Nazarenko Oleg Askoldovych – Ph.D. (Candidate of Physical and Mathematical Sciences), Assistant Professor, Associate Professor at the Department of Higher Mathematics of the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: gelo.fabric@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0405-6522.