

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

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОКРИТТІВ ПІШОХІДНИХ ЗОН ІЗ ФЕМ З ТРЬОМА КЛИНОПОДІБНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В НИЖНІЙ ОСНОВІ

Найбільш поширеним типом покриттів для пішохідних територій є покриття, виконані з фігурних елементів мощення (ФЕМ). Вони мають багато переваг серед інших типів покриттів. До покриттів висуваються вимоги щодо їх надійності та забезпечення показників якості. Але іноді під час візуальних обстежень пішохідних зон спостерігаються деформації різного типу. Однією з причин цих пошкоджень є неправильно вибране конструктивне рішення покриття. Тому потрібно шукати і досліджувати нові, більш ефективні варіанти конструкцій пішохідних зон.

Запропоновано змінити геометричну форму ФЕМ шляхом застосування в їхній нижній основі трьох клиноподібних елементів, що збільшить площу поверхні, яка контактує з нижче розташованим шаром одягу покриття. Завдяки цьому відбудеться можливість передавання на несучі шари збільшеного вертикального навантаження. Клиноподібні елементи попереджатимуть горизонтальний зсув ФЕМ за впливу на поверхню покриття зовнішнього горизонтального навантаження. Нова форма нижньої основи сприятиме додатковому ущільненню нижче розташованого шару із сиучого матеріалу під час улаштування ФЕМ, що приведе до більш жорсткої їх фіксації. Запропонована форма нижньої основи ФЕМ сприятиме збільшенню несучої здатності покриттів і збереженню початкового положення плиток у просторі, що приведе до збільшення безремонтного терміну експлуатації таких покриттів.

Планується проведення експериментальних досліджень нових варіантів покриттів в лабораторних умовах. Визначено основні фактори, що впливають на експлуатаційні характеристики покриття. Такими факторами вибрані кути при ребрах клиноподібних елементів (у поперечному перетині), величина вертикально докладеного навантаження, час дії навантаження, товщина піщаного шару під покриттям. Підібрані матеріали та обладнання для проведення досліджень. Вибрана 4-х факторна трирівнева модель скороченого плану проведення експериментів. Планується дослідити чотири ділянки покриттів з ФЕМ, три з яких мають клиноподібні елементи в нижній основі з відповідними значеннями кутів, і одну – традиційну зі зразків, що мають плоску нижню поверхню.

Ключові слова: пішохідні зони, фігурні елементи мощення, клиноподібні елементи, нижня основа, вертикальне навантаження, осідання.

V.V. DUMANSKA, O.A. NAZARENKO, E.O. POGORELOV
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

PLANNING OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF PEDESTRIAN'S ZONE COVERS MADE OF SPE WITH THREE WEDGE-SHAPED ELEMENTS IN UNDERSIDE SURFACE

The most common type of pavements for pedestrian areas are pavements made of shaped paving elements (SPE). They have many advantages over other types of coatings. Coatings are subject to requirements regarding their reliability and ensuring quality indicators. But sometimes during visual inspections of pedestrian areas, deformations of various types are observed. One of the reasons for these damages is an incorrectly chosen constructive solution of the covering. Therefore, it is necessary to look for and research new, more effective options for the construction of pedestrian zones.

It is proposed to change the geometric shape of the SPE by using three wedge-shaped elements in their lower base, which will increase the surface area that is in contact with the lower layer of the coating. Because of this, it will be possible to transfer the increased vertical load to the bearing layers. Wedge-shaped elements will prevent the horizontal shift of the SPE when an external horizontal load is applied to the coating surface. The new shape of the lower base will contribute to the additional compaction of the layer of loose material located below when installing the SPE, which will lead to their more rigid fixation. Thus, the proposed form of the lower base of the SPE will help to increase the load-bearing capacity of the coatings and preserve the initial position of the blocks in space, which will lead to an increase in the service life of such coatings without repair.

It is planned to carry out experimental studies of new coating options in laboratory conditions. The main factors affecting the operational characteristics of the coating are defined. These factors are chosen as: angles at the edges of the wedge-shaped elements (in the cross section), the magnitude of the vertically applied load, the time of the load, the

thickness of the sand layer under the coating. Selected materials and equipment for research. A 4-factor three-level model of abbreviated experimental design was selected. It is planned to investigate four areas of SPE coatings, three of which have wedge-shaped elements in the lower base with the corresponding values of the angles, and one – a traditional of samples with a flat lower surface.

Key words: pedestrian zones, shaped paving elements, wedge-shaped elements, lower base, vertical load, subsidence.

Постановка проблеми

Однією з проблем в Україні, з якою стикаються мешканці населених пунктів, є неналежний стан великої кількості таких об'єктів будівництва, як тротуари, пішохідні доріжки, майданчики різного призначення, прибудинкові території. За результатами проведеного візуального огляду стало зрозуміло, що існує велика кількість ділянок покриттів, які потребують часткового або повного ремонту чи реконструкції. Іноді спостерігається відсутність будь-якого покриття на тих територіях, де воно необхідне. Відзначено застосування застарілих, неякісних, зношених покриттів, а також різного типу деформації не тільки у старих, але й в нещодавно побудованих територіях пішохідних зон. До цих об'єктів інфраструктури висуваються вимоги щодо якості, надійності та естетичної привабливості. Цим вимогам задовольняють покриття з фігурних елементів мощення (ФЕМ) з бетону. Фігурні елементи мощення є найбільш поширеним матеріалом серед інших, що використовуються під час будівництва пішохідних зон. Ці елементи мають багато переваг порівняно з іншими матеріалами для улаштування верхнього шару пішохідних зон. Покриття з ФЕМ мають високу несучу здатність та тривалий термін експлуатації, шви між елементами забезпечують відведення поверхневих вод у ґрунт, за необхідності їх можна легко розібрати та знов улаштувати або замінити пошкоджені елементи, також вони є естетично привабливими та екологічно чистими. Однак іноді в покриттях з ФЕМ спостерігаються такі деформації, як розхитування, зсув окремих елементів чи цілих ділянок, тріщини, опуклості, увігнутості поверхні. Існує багато причин таких дефектів, однією з яких є неправильно вибране конструктивно-технологічне рішення покриття. Тому постало питання пошуку, розроблення та дослідження нових варіантів пішохідних зон із ФЕМ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

До територій пішохідних зон належать садово-паркові доріжки, тротуари, території прибудинкових територій, майданчики різного призначення тощо. Під час улаштування будь-якого з таких будівельних об'єктів з ФЕМ потрібно ретельно обміркувати конструктивне рішення покриття та розрахувати товщини шарів дорожнього одягу. Існує багато типів фігурних елементів мощення, що мають різні форми і розміри у плані, різнокольорову гаму [1]. Завдяки цьому існує можливість створювати покриття на будь-який смак замовника. Товщина плиток покриття залежить від величини вертикального навантаження, що впливає на нього. Для покриттів пішохідних зон без впливу на них навантаження від транспорту товщина дорівнює 4,5–6 см та від 6 см за наявності транспортного навантаження. Нижня поверхня ФЕМ, які застосовуються в будівництві, є плоскою. Щоб покращити показники якості та надійності покриттів, тобто підвищити несучу здатність і подовжити термін безремонтної експлуатації, запропоновано збільшити площу нижньої основи ФЕМ шляхом змінення її форми [2]. Збільшення площі нижньої основи плиток дасть змогу передавати на нижні несучі шари дорожнього одягу збільшене навантаження, тобто підвищиться несуча здатність покриття. Завдяки геометричним елементам в нижній поверхні відбудеться додаткове ущільнення нижче розташованого шару із сипучого матеріалу. Ці елементи будуть сприяти попереджанню горизонтального зсуву ФЕМ відносно їх початкового положення за докладання горизонтального навантаження. Були розроблені моделі ФЕМ з пірамідальною основою [3], із зубчастих пірамідальних елементів [4; 5], зірчастих елементів пірамідальної форми, з рифленою формою з ребристих елементів

[6]. Деякі із запропонованих рішень покриттів були досліджені, аналізи результатів досліджень підтвердили висунуті гіпотези, що вказало на подальшу роботу щодо пошуку оптимального варіанта покриттів із ФЕМ зі зміненою геометричною формою нижньої основи.

Мета дослідження

Метою роботи є розроблення нових ефективних варіантів покриттів пішохідних зон, виконаних з фігурних елементів мощення, що мають змінену геометричну форму нижньої основи, та дослідження показників, що характеризують якість і надійність запропонованих покриттів.

Для розв'язання задачі планується розробити нову модель покриття, визначити найбільш значущі фактори, що впливають на його роботу, вибрати рівні варіювання цих факторів, розробити методику проведення експериментальних досліджень, підібрати необхідне обладнання та матеріали.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для підвищення несучої здатності покриттів пішохідних зон та подовження безремонтного терміну їх експлуатації запропоновано використовувати фігурні елементи мощення, виконані за новим конструктивним рішенням. Такі ФЕМ мають по три клиноподібні елементи у нижній основі. На рис. 1 представлені чотири плитки квадратної форми у плані, у трьох з них нижня основа, що контактує з нижче розташованим конструктивним шаром дорожнього одягу, має змінену форму. Перший зразок – це традиційний ФЕМ з плоскою нижньою основою, а інші – це запропоновані ФЕМ з трьома клиноподібними елементами в нижній основі, що мають гострі, прямі та тупі кути при поздовжньому ребрі клиноподібних елементів (у поперечному перетині).

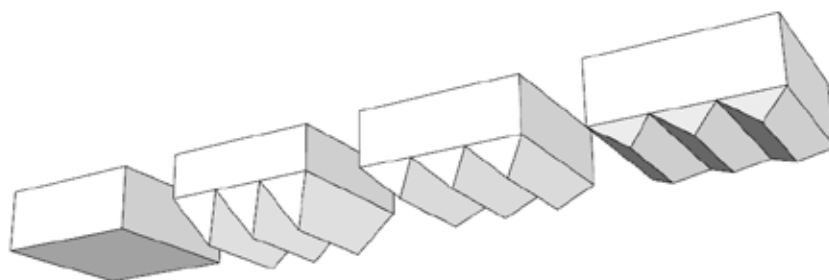


Рис. 1. Наочне зображення традиційного ФЕМ з плоскою основою та трьох типів ФЕМ, які містять три клиноподібні елементи в нижній основі з кутами при поздовжньому ребрі в поперечному перетині, що дорівнюють 60° , 90° та 120°

Очевидно, що площа нижньої основи запропонованих ФЕМ буде більшою, ніж у плиток з плоскою основою. Завдяки цьому зовнішнє навантаження через нижню основу передаватиметься на збільшений об'єм несучого шару дорожнього одягу, тобто збільшиться несуча здатність покриття. Змінена геометрична форма нижньої основи приведе до додаткового ущільнення піщаного шару під покриттям, що також сприяє збільшенню несучої здатності і жорсткому фіксуванню ФЕМ у нижче лежачому шарі дорожнього одягу та запобіганню зсуву ФЕМ у горизонтальному напрямку за горизонтально докладеного навантаження. Однак висунуті гіпотези стосовно переваг покриттів пішохідних зон із ФЕМ з клиноподібними елементами в нижній основі потрібно підтвердити експериментально. Для цього розроблена методика проведення досліджень в лабораторних умовах.

У досліді планується розглянути чотири ділянки покриттів. Кожна з них буде складатись з дев'яти дослідних зразків: по три в трьох рядах. Перша складається з традиційних ФЕМ

з плоскою основою, а три інші – із запропонованих ФЕМ, де клиноподібні елементи на кожній ділянці мають задане значення кута. Кожен з дослідних зразків матиме у плані форму квадрата зі стороною 120 мм. Висота традиційних ФЕМ на першій ділянці дорівнюватиме 50 мм. На другій ділянці будуть улаштовуватись зразки зі значенням кута при поздовжньому ребрі всіх клиноподібних елементів у нижній основі за вертикального перетину 60° , на третій ділянці – з кутом 90° , на четвертій – з кутом 120° . Для уникнення зсуву під час будівництва ділянок з ФЕМ з клиноподібними елементами в нижній основі рекомендовано укласти покриття таким чином, щоб поздовжні ребра клиноподібних елементів сусідніх плиток були взаємно перпендикулярними (рис. 2, 3).

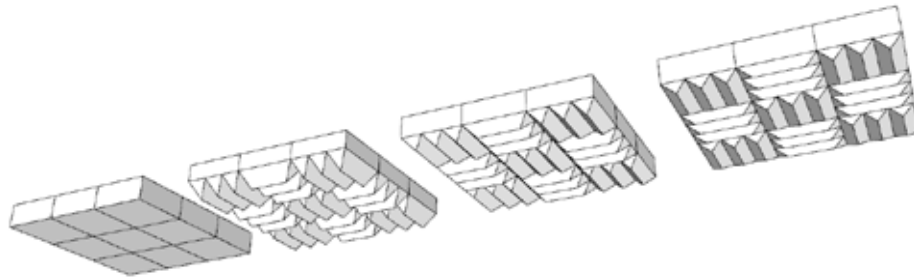


Рис. 2. Наочне зображення чотирьох ділянок з дев'яти ФЕМ: традиційного ФЕМ з плоскою основою та трьох типів ФЕМ, які містять три клиноподібні елементи в нижній основі з різними величинами кутів при поздовжньому ребрі в поперечному перетині

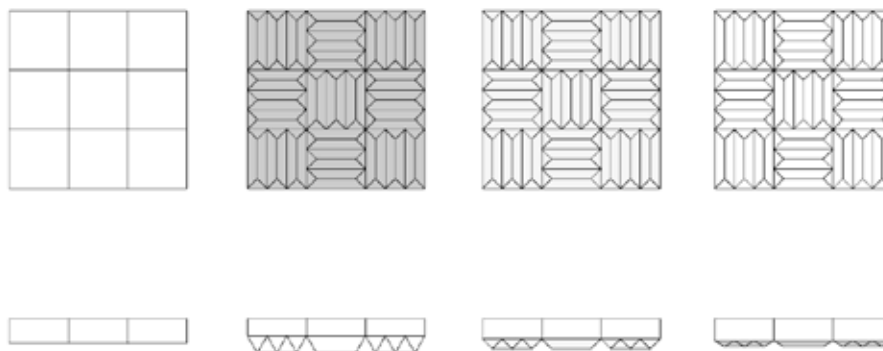


Рис. 3. Вид знизу та спереду чотирьох дослідних ділянок покриттів: з традиційних ФЕМ з плоскою основою та з трьох типів ФЕМ з трьома клиноподібними елементами, кути яких при поздовжньому ребрі в поперечному перетині дорівнюють 60° , 90° та 120°

Для запобігання перевищенню витрат бетону на збільшений об'єм нижньої основи запропонованих плиток потрібно зменшити товщину їх призматичної частини так, щоб загальний об'єм кожної ФЕМ дорівнював об'єму традиційної плитки такої самої форми і розмірів в плані. За зменшення кута при ребрі клиноподібних елементів в нижній основі збільшується їх сумарний об'єм, а об'єм верхньої призматичної частини плиток буде зменшуватись, тобто товщина призми є меншою у тих зразків, де кут при ребрі клиноподібного елемента менший.

Для виготовлення дослідних зразків з клиноподібними елементами з трьома параметрами кутів при нижньому ребрі проведено розрахунки для кожного з варіантів і визначено висоту їх призматичної частини. Так, в результаті обчислень отримано, що у ФЕМ з кутом при ребрі клиноподібного елемента 60° товщина верхньої призматичної частини дорівнює 35 мм; з кутом 90° – 41 мм; з кутом 120° – 45 мм (рис. 4).

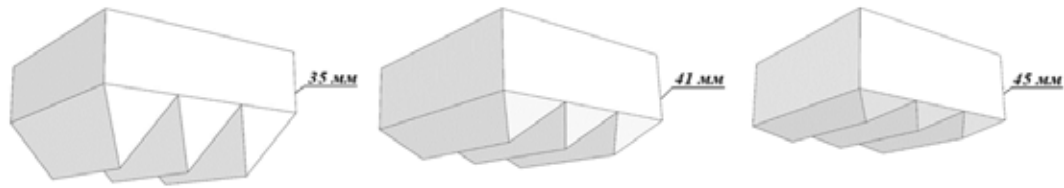


Рис. 4. Товщина призматичної частини трьох дослідних зразків з трьома клиноподібними елементами в нижній основі, кути яких при поздовжньому ребрі в поперечному перетині дорівнюють у першому варіанті – 60° , у другому – 90° та у третьому – 120°

Для лабораторних досліджень вибрані найбільш значущі фактори, що впливають на роботу покриттів пішохідних зон: величини вертикально докладених навантажень; час дії навантажень; кут при поздовжньому ребрі клиноподібного елемента у поперечному перетині; товщина несучого шару основи, розташованої під покриттям. Матеріалом несучого шару покриття вибраний дрібнозернистий пісок з вологістю 5% та початковою щільністю $1,4 \text{ г/см}^3$. На кожній з ділянок буде досліджуватись зразок, розташований у центрі, до якого докладатиметься вертикальне навантаження. Показниками, що характеризують якість і надійність покриттів за різних значень кутів при ребрі клиноподібних елементів, вибрані величина осідання зразків та щільність піщаного шару основи. Для отримання цих показників необхідно провести декілька етапів досліджень. Користуючись класичною теорією планування експериментів, вибрани 4-факторну трирівневу модель скороченого плану.

Для лабораторних досліджень ділянок покриттів з ФЕМ з клиноподібними елементами вибрані такі абсолютні значення основних факторів:

- кут при поздовжньому ребрі клиноподібного елемента (у поперечному перетині) в нижній основі зразка – 60° , 90° , 120° ;
- товщина несучого піщаного шару під покриттям – 12 см, 14 см, 16 см;
- величина вертикально докладеного навантаження – $0,486 \text{ кг/см}^2$, $0,972 \text{ кг/см}^2$, $1,458 \text{ кг/см}^2$;
- час впливу вертикально докладеного навантаження на ФЕМ – 1 год, 25 год, 49 год.

Для ділянки, що складається зі зразків з плоскою основою, планується провести такі самі експерименти, як і для запропонованих покриттів, щоб надалі порівняти отримані показники для всіх покриттів.

Кожна з дослідних ділянок має бути жорстко зафіксована для запобігання горизонтальному зсуву. Тому у спеціально виготовленому металевому коробі, розташованому в експериментальному стенді, розміщуватиметься піщана основа необхідної товщини, на яку улаштуватиметься дослідна ділянка з дев'ятьох зразків. Вертикальне навантаження буде передаватись по центру дослідного зразка за допомогою спеціально виготовленого важеля, зафіксованого на стенді. За допомогою індикаторів часового типу, розташованих по чотирьох кутах зразка, будуть проведені заміряння осідань, і надалі знайдено середнє арифметичне значення (рис. 5).

Після зняття навантаження, що впливало на експериментальний зразок протягом відповідного часу, потрібно визначити щільність піску під цим зразком. Тому всі дев'ять зразків ділянки покриття потрібно спочатку охайно вилучити, а далі за допомогою спеціального металевого кільця об'ємом 65 см^3 та двох скляних пластин зробити забір піску під центральною частиною дослідного зразка. Після проведення зважування та необхідних розрахунків отримаємо параметри другого досліджуваного показника – щільності.

Викладений план експериментальних робіт дасть змогу провести дослідження, визначити оптимальне співвідношення між усіма факторами, провести порівняльний аналіз та вибрати найбільш ефективний конструктивний варіант покриття.



Рис. 5. Дослідження покриття з ФЕМ у лабораторних умовах

Висновки

Запропоновано нове конструктивне рішення покриття пішохідних зон з ФЕМ, що мають три клиноподібні елементи в нижній основі. Заплановано дослідити чотири ділянки покриттів, три з яких складаються зі зразків, що мають клиноподібні елементи в нижній основі з кутами 60° , 90° та 120° при поздовжньому ребрі. Визначені основні фактори, що впливають на роботу покриття, а також їхні параметри. Підібрані необхідні матеріали та обладнання. Розроблений план проведення експерименту, в результаті якого слід отримати вихідні параметри, що вкажуть на якісні характеристики покриття: осідання зразків під дією вертикального навантаження та щільність піщаного шару під зразками.

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. Azman M., Hasanan M.N., Mohd R.H., Haryati Y., Che R.I., 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.
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. Думанська В.В., Перпері А.О., Калінін О.О. Пошук шляхів вирішення проблеми руйнування покриттів пішохідних доріжок та майданчиків із фігурних елементів мостіння. *Регіональні проблеми архітектури та містобудування*. 2022. № 16. С. 179–185.
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.
6. Dumanska V., Kalinin O., Sidorova N., Kalinina T. Study of pavements of concrete paving blocks with ribbed underside surface. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 864. P. 101–107.

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. *Journal Technology Sciences & Engineering*, 61:3, 7–14 [in English].
3. Dumanska, V.V. (2011). Vdoskonalennia tekhnologii 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.V., Perperi A.O., & Kalinin O.O. (2022). Poshuk shliakhiv vyrishennia problemy ruinuvannia pokryttiv pishokhidnykh dorizhok ta maidanchyiv iz fihurnykh elementiv mostinnia.[Searching for ways to solve the problem of destruction of footpaths and platforms made of shaped paving elements]. *Rehionalni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia*, 16, 179–185 [in Ukrainian].
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*, 1 (48), 265–272 [in English].
6. 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].

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.

Погорелов Євгеній Олександрович – аспірант, асистент кафедри нарисної геометрії та інженерної графіки Одеської державної академії будівництва та архітектури. E-mail: pogorelov321532@gmail.com, ORCID: 0009-0005-4705-2646.

Dumanska Veronika Valentynivna – 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 Oleh Askoldovych – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate 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.

Pogorelov Evgeniy Oleksandrovych – Postgraduate Student, Assistant at the Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics of the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture. E-mail: pogorelov321532@gmail.com, ORCID: 0009-0005-4705-2646.