

**РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ ПАЛЬ****Богуславська А. М.**

*кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри інформаційних технологій в туризмі  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна  
[orcid.org/0000-0002-8594-4849](https://orcid.org/0000-0002-8594-4849)  
[alla\\_boguslavska@ukr.net](mailto:alla_boguslavska@ukr.net)*

**Гребенюк С. М.**

*доктор технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри фундаментальної математики  
Запорізький національний університет  
вул. Жуковського, 66, Запоріжжя, Україна  
[orcid.org/0000-0002-5247-9004](https://orcid.org/0000-0002-5247-9004)  
[gsm1212@ukr.net](mailto:gsm1212@ukr.net)*

**Морозов Д. М.**

*кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри інформаційних технологій в туризмі  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна  
[orcid.org/0000-0001-9446-8736](https://orcid.org/0000-0001-9446-8736)  
[ajax3101@gmail.com](mailto:ajax3101@gmail.com)*

**Гнєздовський О. В.**

*старший викладач кафедри інформаційних технологій в туризмі  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
вул. Жуковського, 64, Запоріжжя, Україна  
[orcid.org/0000-0003-0392-3030](https://orcid.org/0000-0003-0392-3030)  
[gnezdovskiy.alexey@gmail.com](mailto:gnezdovskiy.alexey@gmail.com)*

**Ключові слова:** композиційний матеріал, матриця, волокно, термопружні сталі, температурні коефіцієнти лінійного розширення, металева паля.

У роботі визначено напружено-деформований стан металевої палі, що представлена ізотропним композитним матеріалом на основі магнієвої та титанової матриць, армованих борними волокнами. Задачу розглянуто для двох вісесиметричних напрямів армування волокнами: осьового та кругового. При розв'язанні задачі припускалося, що металева паля має циліндричну форму, знаходиться під дією зовнішнього навантаження та зазнає температурного впливу. Розрахунки проведено в програмному комплексі «МІРЕЛА+» на основі методу скінченних елементів. Для отримання чисельних результатів використано паралелепіпедний скінченний елемент для композиційного матеріалу з просторовою орієнтацією волокон на основі моментної схеми скінченного елемента. На низці термопружних задач проведено верифікацію скінченно-елементного підходу до визначення напружено-деформованого стану конструкцій із волокнистого композита, що знаходиться в умовах

температурного впливу. Розрахунок задачі проводився при різних сітках розбиття й показав добру збіжність чисельних результатів. У роботі представлено результати чисельних розрахунків при сітці розбиття на скінченні елементи  $5 \times 17 \times 13$ . Термопружні сталі композиційного матеріалу, такі як поздовжній і поперечний модулі пружності, коефіцієнти Пуассона, поздовжній і поперечний температурні коефіцієнти лінійного розширення, визначено за допомогою відомих формул.

Отже, у роботі проведено числовий аналіз задачі й побудовано графічні залежності осьових і радіальних деформацій залежно від типу армування, матеріалу матриці та об'ємного вмісту волокна в композиті. З аналізу отриманих результатів видно, що як осьові, так і радіальні деформації зменшуються при збільшенні об'ємної частки волокна в композиті. Зокрема, можна зауважити, що радіальні переміщення є меншими порівняно з осьовими для обох типів армування волокнами. Отримані результати можуть бути використані при будівництві, допомогти розв'язати проблему правильного підбору матеріалів композиту, тим самим уникнути появи тріщин і руйнування споруди в подальшому.

## CALCULATION OF STRESS-DEFORMED STATE METAL PILLS

**Bohuslavskaya A. M.**

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Information Technology in Tourism  
Zaporizhzhia Polytechnic National University  
Zhukovskoho str., 64, Zaporizhzhia, Ukraine  
orcid.org/0000-0002-8594-4849  
alla\_boguslavskaya@ukr.net*

**Grebenyuk S. M.**

*Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Fundamental Mathematics  
Zaporizhzhia National University  
Zhukovskoho str., 66, Zaporizhzhia, Ukraine  
orcid.org/0000-0002-5247-9004  
gsm1212@ukr.net*

**Morozov D. M.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Information Technologies in Tourism  
Zaporizhzhia Polytechnic National University  
Zhukovskoho str., 64, Zaporizhzhia, Ukraine  
orcid.org/0000-0001-9446-8736  
ajax3101@gmail.com*

**Hniezdovskyi O. V.**

*Senior Lecturer at the Department of Information Technology in Tourism  
Zaporizhzhia Polytechnic National University  
Zhukovskoho str., 64, Zaporizhzhia, Ukraine  
orcid.org/0000-0003-0392-3030  
gnezdovskiy.alexey@gmail.com*

**Key words:** *composite material, matrix, fiber, thermoelastic steels, temperature coefficients of linear expansion, metal pile.*

The stress-strain state of a metal pile, which is represented by an isotropic composite material based on magnesium and titanium matrices reinforced with boron fibers, is determined in the work. The problem is considered for two axisymmetric directions of fiber reinforcement: axial and circular. In solving the problem, it was assumed that the metal pile has a cylindrical shape and is under external stress and is exposed to temperature. The MIRELA + software package is used for the calculation, with the help of which a finite element procedure for solving boundary value problems of thermoelasticity for composite materials is implemented. To obtain numerical results, a finite element parallelepiped was used for a composite material with a spatial orientation of the fibers based on the moment diagram of the finite element. Thermoelastic steels of composite material, such as longitudinal modulus, transverse modulus, Poisson's ratios, temperature coefficients of linear expansion are obtained by the method of homogenization.

Numerical analysis of the problem is performed and graphical dependences of axial and radial deformations depending on the type of reinforcement, matrix material and volumetric fiber content in the composite are constructed. Analyzing the results, we can say that the obtained dependences for the metal pile on the basis of both magnesium and titanium matrices have the same character. However, it should be noted that the axial and radial deformations for the titanium matrix are smaller.

Thus, a numerical solution of the problem of deformation of a metal pile based on magnesium and titanium matrices reinforced with boron fibers, which is under conditions of temperature and force loading, is obtained. The results show that both axial and radial deformations decrease with increasing volume fraction of the fiber in the composite. In particular, radial displacements are smaller compared to axial for both types of reinforcement.

Туристична галузь розвивається надзвичайно швидкими темпами. Туризм є одним із важливих чинників стабільного й динамічного збільшення надходжень до бюджету, підвищення зайнятості населення, розвитку в ринкових відносинах.

Основним складником туристської індустрії є готельне господарство. Готелі продовжують будувати й добудовувати. Будівництво ведеться як у гірських місцевостях, так і на піщаних берегах. У зв'язку з цим виникає необхідність укріплення фундаментів. При сучасному будівництві все частіше використовують пальові фундаменти на металевих палях, що виготовлені зі сталевих труб. Пальові фундаменти, як правило, вимагають менше матеріалу для будівництва порівняно з традиційними траншейними засипками, тому вони можуть забезпечити зниження витрат, а також зменшити терміни будівництва. Однією з головних переваг використання пальових фундаментів є те, що вони можуть використовуватися, коли ґрунт має низьку якість і зазвичай уважається занадто слабким, щоб утримувати міцні фундаменти.

Останніми роками фундамент на металевих палях усе частіше використовується при будівництві. Чимало робіт як вітчизняних, так і зарубіжних науковців присвячені цій тематиці. Наприклад, у статті [1] досліджені питання руйнівної сили землетрусів, сейсмостійкості будівель і

споруд, а також сейсмостійкості будівельних конструкцій. У роботі представлено нові ідеї та інженерні рішення проблем про забезпечення сейсмостійкості будівель і споруд, а також принципи проектування будівництва сейсмостійких будівельних конструкцій. Вимоги до проектування фундаментів із різних типів паль у різних інженерно-геологічних умовах і при будь-яких видах будівництва встановлено в роботі [2]. У практичних записках [3; 4] висвітлюється багато важливих елементів проектування, сертифікації, установки й тестування пальових фундаментів. Роботи містять рекомендації, що базуються на результатах передової практики в Новій Зеландії.

Робота [5] присвячена новій техніці чисельного моделювання для проведення установки та завантаження металевих паль. За допомогою методу скінчених елементів здійснюється оцінювання вимог до установки, а також гранична здатність до розтягу та стиску. Чисельне моделювання гвинтових паль традиційно проводиться за допомогою методу скінчених елементів. В огляді [6] основна увага приділяється конструкції металевих паль з осьовим навантаженням при стисканні й розтягуванні. Наведені методи проектування, такі як циліндрична модель зсуву, індивідуальна модель підшипника та співвідношення між моментом установки та несучою здатністю. Проведено їх порівняння.

Оскільки конструкційні елементи з композитних матеріалів часто використовуються в будівництві, при розрахунках необхідно враховувати зміну напружено-деформованого стану під дією температури навколишнього середовища. Зокрема, для дослідження композитних конструкцій на міцність необхідно враховувати дію термонапружень.

Використовуючи метод скінченних елементів визначимо напружено-деформований стан металевої палі, що представлена ізотропним композитним матеріалом на основі магнієвої матриці. Термомеханічні характеристики матриці [7]: модуль пружності  $E^* = 45,5 \text{ ГПа}$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu^* = 0,33$ , температурний коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha^* = 26 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ . Термомеханічні характеристики борних волокон мають такі значення [7]: модуль пружності  $E^\circ = 416 \text{ ГПа}$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu^\circ = 0,23$ , температурний коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha^\circ = 2,4 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ .

Розглянемо циліндричну палю діаметром  $d = 0,108 \text{ м}$  і довжиною  $l = 2,5 \text{ м}$ , що знаходиться під навантаженням 7 тонн.

Для розрахунку використовується програмний комплекс «МІРЕЛА+» [8], за допомогою якого реалізується скінченноелементна процедура розв'язання крайових задач термопружності для композиційних матеріалів. Для отримання чисельних результатів використано паралелепедний скінченний елемент для композиційного матеріалу з просторовою орієнтацію волокон на основі моментної схеми скінченного елемента [9].

Верифікацію скінченно-елементного підходу до визначення напружено-деформованого стану конструкцій із волокнистого композита в умовах температурного впливу проведено на низці задач [10].

Розрахунок задачі проводився при різних сітках розбиття й показав добру збіжність чисельних результатів. У роботі представлено результати чисельних розрахунків при сітці розбиття на скінченні елементи  $5 \times 17 \times 13$ .

Термопружні сталі композиційного матеріалу визначимо за допомогою відомих формул (1)–(6). Поздовжній модуль  $E_1$ , поперечний модуль  $E_2$  та коефіцієнти Пуассона  $\nu_{12}$ ,  $\nu_{23}$  обчислимо за формулами [9]:

$$\nu_{12} = \frac{(\alpha - 2\beta\nu_{12}^\circ)\nu_{12}^* + 2E_2^*f(\nu_{12}^\circ - \nu_{12}^*)}{\alpha - 2\beta\nu_{12}^\circ + 2f\nu_{21}^*E_2^\circ(\nu_{12}^\circ - \nu_{12}^*)}; \quad (1)$$

$$E_1 = \frac{(\alpha - 2\nu_{12}^\circ\beta)E_1^*(1-f) + (\alpha - 2\nu_{12}^*\beta)E_1^*f}{\alpha - 2\beta\nu_{12}^\circ + 2f\nu_{21}^*E_2^\circ(\nu_{12}^\circ - \nu_{12}^*)}; \quad (2)$$

$$E_2 = \frac{2\alpha E_2^*}{(\alpha((1+\nu_{23}^*) + 4(\gamma - 2E_2^\circ)(1-\nu_{21}^*\nu_{12}^*)(f\chi_1 + \chi_2)) + \delta + \eta_1\eta_2)}; \quad (3)$$

$$\nu_{23} = \frac{(\alpha((1+\nu_{23}^*) + 4(\gamma - 2E_2^\circ)(1-\nu_{21}^*\nu_{12}^*)(f\chi_1 + \chi_2)) - (\delta + \eta_1\eta_2))}{(\alpha((1+\nu_{23}^*) + 4(\gamma - 2E_2^\circ)(1-\nu_{21}^*\nu_{12}^*)(f\chi_1 + \chi_2)) + (\delta + \eta_1\eta_2))}; \quad (4)$$

де  $f$  – об'ємний уміст волокна в композиті,

$$\alpha = E_2^*(1-f)(1-\nu_{23}^\circ) + E_2^\circ(f(1-\nu_{23}^*) + (1+\nu_{23}^*));$$

$$\beta = \nu_{21}^*E_2^*(1-f) + \nu_{21}^*fE_2^\circ; \quad \gamma = E_2^*(1-\nu_{23}^\circ) + E_2^\circ(1+\nu_{23}^*);$$

$$\delta = f(1+\nu_{23}^*)(\gamma - 2E_2^\circ) + \gamma(1-\nu_{23}^*);$$

$$\eta_1 = 2E_1^*E_1^* \times (f-1)f(\nu_{21}^*\gamma - 2\nu_{21}^*E_2^*);$$

$$\eta_2 = 1/\left(E_2^*(\alpha(E_1^*f + E_1^*(1-f)) - 2\beta(\nu_{12}^*E_1^*f + \nu_{12}^*E_1^*(1-f)))\right);$$

$$\chi_1 = \frac{(d_{11} - d_{21})}{d_{11}d_{22} - d_{21}d_{12}}; \quad \chi_2 = \frac{(d_{22} - d_{12})}{d_{11}d_{22} - d_{21}d_{12}};$$

$$d_{11} = E_2^\circ((4f - 3 - 1/f^2)(1 + \nu_{23}^*) -$$

$$-4f(1 - \nu_{21}^*\nu_{12}^*)) - E_2^*\left(\frac{(4f - 1/f^2 - 3)(1 + \nu_{23}^*)}{+4(1/f^2 - f)(1 - \nu_{21}^*\nu_{12}^*)}\right); \quad d_{12} =$$

$$= E_2^\circ((1/f - f)(1 + \nu_{23}^*) - 4(1 - \nu_{21}^*\nu_{12}^*)) -$$

$$-E_2^*((1/f - f)(1 + \nu_{23}^*) + 4(1 - 1/f)(1 - \nu_{21}^*\nu_{12}^*));$$

$$d_{21} = E_2^\circ(4f(1 - \nu_{21}^*\nu_{12}^*) + (2f + 1/f^2 - 3)(1 + \nu_{23}^*)) -$$

$$-E_2^*((2f + 1/f^2 - 3)(1 + \nu_{23}^*) +$$

$$+4(f - 1/f^2)(1 - \nu_{21}^*\nu_{12}^*));$$

$$d_{22} = E_2^\circ((2 - f - 1/f)(1 + \nu_{23}^*) - 4(1 - \nu_{21}^*\nu_{12}^*)) -$$

$$-E_2^*((2 - f - 1/f)(1 + \nu_{23}^*) + 4(1/f - 1)(1 - \nu_{21}^*\nu_{12}^*)).$$

Поздовжній і поперечний температурні коефіцієнти лінійного розширення  $\alpha_{11}$ ,  $\alpha_{22}$  композита розрахуємо за формулами [11]:

$$\alpha_{11} = \frac{\gamma d^*}{(d^\circ + f(d^* - d^\circ))(d_1 - d_2)} + \frac{2\nu_{21}^*fE_2^\circ}{d_1 - d_2}(\alpha_{22}^\circ - \alpha_{22}^*) + \alpha_{11}^*; \quad (5)$$

$$\alpha_{22} = -\frac{\gamma f}{(d_1 - d_2)(d^* + f(d^* - d^\circ))}\left(2\nu_{21}^*(1-f) + \frac{\nu_{12}^*(2fE_2^\circ + d_1 - d_2)}{E_1^*}\right) + \frac{2fE_2^\circ}{d_1 - d_2}(\alpha_{22}^\circ - \alpha_{22}^*) + \alpha_{22}^*, \quad (6)$$

де

$$\gamma = (2\nu_{21}^*E_2^*(f-1) - 2\nu_{21}^*E_2^*f)(\alpha_{22}^\circ - \alpha_{22}^*) + (d_1 - d_2)(\alpha_{11}^\circ - \alpha_{11}^*).$$

Символом  $^\circ$  позначено величини, що відносяться до матеріалу волокна, а символом  $^*$  – величини, що відносяться до матеріалу матриці.

Розглянемо цю задачу для двох віссиметричних напрямів армування волокнами: осьового та кругового.

Результати розрахунків для різних схем армування при температурі  $T = 50^\circ\text{C}$  наведені на рис. 1–2.

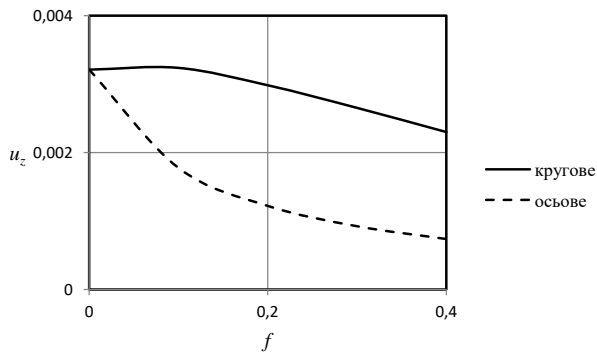


Рис. 1. Розподіл осьових переміщень  $u_z$

Аналізуючи отримані на рис. 1 залежності, можна зауважити, що осьові деформації металеві палі при осьовому армуванні в умовах дії температури є меншими порівняно з деформаціями при круговому армуванні. Крім того, з отриманих залежностей видно, що зі збільшенням об'ємного вмісту волокна в композиті деформації металеві палі зменшуються для обох напрямів армування.

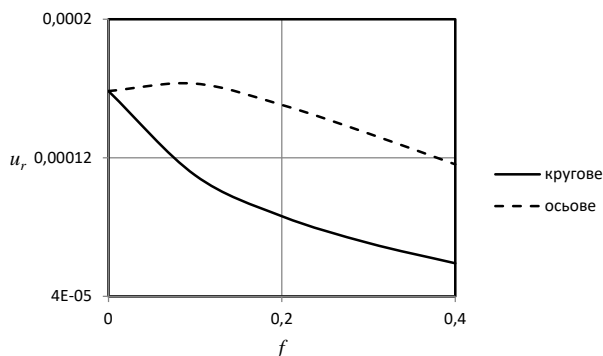


Рис. 2. Розподіл радіальних переміщень  $u_r$

З рис. 2 видно, що при осьовому армуванні функція зазнає більших деформацій, ніж при круговому, а збільшення об'ємного вмісту волокна в композиті призводить до зменшення радіальних переміщень для обох типів армування.

Аналогічно визначимо напружено-деформований стан металеві палі, що представлена ізотропним композитним матеріалом на основі титанової матриці, армованої борними волокнами. Термомеханічні характеристики матриці [7]: модуль пружності  $E^* = 113,8 \text{ ГПа}$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu^* = 0,33$ , температурний коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha^* = 26 \cdot 10^{-6} 1 / ^\circ\text{C}$ . Термомеханічні характеристики борних волокон мають такі значення [7]: модуль пружності  $E^\circ = 416 \text{ ГПа}$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu^\circ = 0,23$ , температурний коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha^\circ = 8,4 \cdot 10^{-6} 1 / ^\circ\text{C}$ .

Результати розрахунків напружено-деформованого стану металеві палі на основі титанової матриці для кругового й осьового типів армування при температурі  $T = 50^\circ\text{C}$  залежно від об'ємного вмісту волокна в композиті  $f$  представлено на рис. 3–4.

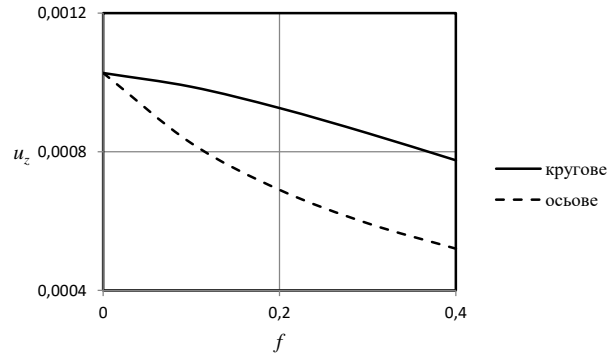


Рис. 3. Розподіл осьових переміщень  $u_z$

Аналізуючи результати, можна сказати, що отримані залежності для металеві палі як на основі магнієвої, так і на основі титанової матриць мають однаковий характер. Проте необхідно зазначити, що осьові та радіальні деформації для титанової матриці є меншими.

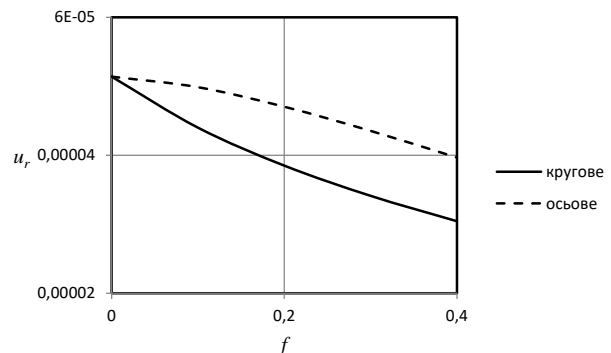


Рис. 4. Розподіл радіальних переміщень  $u_r$

Отже, отримано чисельний розв'язок задачі про деформування металеві палі на основі магнієвої та титанової матриць, армованих борними волокнами, що знаходиться в умовах температурного впливу й силового навантаження. З отриманих результатів видно, що як осьові, так і радіальні деформації зменшуються при збільшенні об'ємної частки волокна в композиті. Зокрема, радіальні переміщення є меншими порівняно з осьовими для обох типів армування.

Отже, правильно підібравши матеріали композиту, можна зменшити осадку палі, тим самим уникнути появи тріщин і руйнування споруди в подальшому, а отже, розв'язати головну проблему технічних норм.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ордобаев Б.С. Инженерные методы по снижению сейсмического риска зданий и сооружений. *Технологии гражданской безопасности*. Москва, 2013. Т. 10. № 4 (38). С. 62–66.
2. Свайные фундаменты: свод правил / составитель В.Н. Калинин. Москва, 2011. 85 с.
3. Screw Piles: Guide lines for Design, Construction & Installation / lead author : Nicola Ridgley. New Zealand, 2015. 48 p.
4. Field description of soil and rock. Guideline for the field classification and description of soil and rock for engineering purposes. *New Zealand geotechnical society INC*. 2005. 39 p.
5. Numerically modeling the installation and loading of screw piles using DEM / Y.U. Sharif, M.J. Brown, M.O. Ciantia, J.A. Knappett, C. Davidson, B. Cerfontaine, S. Robinson. *Civil Engineering, School of Science and Engineering, University of Dundee*. Scotland, 2019. P. 101–108.
6. Abbas Mohajeranin, Dusan Bosnjak, Damon Bromwich. Analysis and design methods of screw piles: A review. *Soils and Foundations*. 2016. Vol. 56 (1). P. 115–128.
7. Карпинос Д.М. Композиционные материалы : справочник. Киев : Наукова думка, 1985. 592 с.
8. Метод конечных элементов в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / В.В. Киричевский, Б.М. Дохняк, Ю.Г. Козуб, С.И. Гоменюк, Р.В. Киричевский, С.Н. Гребенюк. Киев : Наукова думка, 2005. 416 с.
9. Гребенюк С.М. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 01.02.04. Запоріжжя, 2016. 35 с.
10. Гребенюк С.М., Клименко М.І., Богуславська А.М. Термопружна задача для порожнистого циліндра з композиційного матеріалу з транслопним волокном. *Вісник Запорізького національного університету*. Запоріжжя, 2017. № 2. С. 82–89.
11. Богуславська А.М. Термомеханічні характеристики волокнистого композиційного матеріалу з анізотропними компонентами : дис. канд. ... фіз.-мат. наук : 01.02.04. Запоріжжя, 2018. 133 с.

## REFERENCES

1. Ordobaev B. S. (2013) *Inzhenernye metody po snizheniyu seysmicheskogo riska zdaniy i sooruzheniy* [Engineering methods to reduce the seismic risk of buildings and structures]. *Civil Security Technology*, vol. 10, no. 4 (38), pp. 62–66.
2. Kalinin V. N. (2011) *Pile foundations: svod pravyl* [Pile foundations: a set of rules]. Moskva (in Russian).
3. Nicola Ridgley. (2015) *Screw Piles: Guide lines for Design, Construction & Installation*. New Zealand, 48 p.
4. Field description of soil and rock. Guideline for the field classification and description of soil and rock for engineering purposes. *New Zealand geotechnical society INC*. 2005. 39 p.
5. Y U Sharif, M J Brown, M O Ciantia, J A Knappett, C Davidson, B Cerfontaine, S Robinson. (2019) Numerically modeling the installation and loading of screw piles using DEM. *Civil Engineering, School of Science and Engineering, University of Dundee*. Scotland, pp. 101–108.
6. Abbas Mohajeranin, Dusan Bosnjak, Damon Bromwich. (2016) Analysis and design methods of screw piles: A review. *Soils and Foundations*, vol. 56 (1), pp. 115–128.
7. Karpynos D. M. (1985) *Kompozitsionnye materialy. Spravochnik* [Composite materials. Directory]. Kyev: Naukova dumka (in Ukrainian).
8. Kyrychevskiy V. V., Dokhniak B. M., Kozub Yu. H., Homeniuk S. Y., Kyrychevskiy R. V., Hrebenuk S. N. (2005) *Metod konechnikh elementov v vychislitel'nom komplekse «MIRELA+»* [Finite element method in the computing complex «MIRELA +»]. Kyiv: Naukova dumka (in Ukrainian).
9. Grebenyuk S. M. (2016) Stress-deformed state of spatial structures on the basis of homogenization of fibrous composites: author's abstract. (Extended abstract of Doctor thesis). Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhya, Ukraine.
10. Grebenyuk S. M., Klymenko M. I., Bohuslavskaya A. M. (2017) *Termoprzhna zadacha dlya porozhnistogo tsilindra z kompozitsiynogo materialu z transtopnim voloknom* [Thermal task for a hyper cylinder from transstopropic fiber composite material]. *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu*, no. 2. pp. 82–89.
11. Bohuslavskaya A. M. (2018) Thermomechanical characteristics of a fibrous composite material with anisotropic components. (Extended abstract of the candidate dissertation). Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhya, Ukraine.