

УДК 519.624:624.0041:624.15

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ ФУНДАМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

А. С. Моргун, С. П. Берчак

У статті за числовим методом граничних елементів спрогнозовано поведінку фундаментної конструкції (пальове поле) 10-типоверхової житлової будівлі. Визначено напружено-деформативний стан та несучу спроможність двох варіантів пальового поля з урахуванням інженерно-геологічних умов будівельного майданчика та вибрано оптимальний варіант, який враховує витрати основних будівельних матеріалів. Дослідження поведінки паль в нелінійній стадії їх роботи проведено з залученням теорії пластичної течії та сучасної дилатансійної теорії пористих середовищ.

Ключові слова: метод граничних елементів, напружено-деформований стан, несуча спроможність, пальове поле, пластичність, дилатансія.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. С. Моргун, С. П. Берчак

В статье численным методом граничных элементов спрогнозировано поведение фундаментной конструкции (свайное поле) 10-этажного жилого здания. Определено напряженно-деформативный состояние и несущую способность двух вариантов свайного поля с учетом инженерно-геологических условий строительной площадки и выбран оптимальный вариант, который учитывает расход основных строительных материалов. Исследования поведения свай в нелинейной стадии их работы проведены с привлечением теории пластического течения и современной дилатансионной теории пористых сред.

Ключевые слова: метод граничных элементов, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, свайное поле, пластичность, дилатансия.

PREDICTING THE BEHAVIOR OF FOUNDATION STRUCTURES BY METHOD OF BOUNDARY ELEMENTS

A. S. Morhun, S. P. Berchak

In the article by the numerical method of boundary elements of the predicted behavior of the Foundation structure (pile field) 10- storey residential building. Defined stress-deformative condition and bearing ability of the two variants of pile fields, including engineering-geological conditions of construction sites and selected the best option, which takes into account the consumption of the main building materials. Study the behavior of piles in nonlinear stage of their work is conducted with the involvement of the plastic flow theory and modern dilatancy the theory of porous media.

Keywords: boundary element method, the stress-strain state, bearing capacity of pile field, plasticity, dilatancy.

Вступ. Задачі механіки ґрунтів по визначенню несучої спроможності фундаментних конструкцій часто розглядають як задачі пластичності, що потребує залучення сучасних числових методів та ЕОМ. Можливості сучасних ЕОМ, які весь час зростають, потребують постійної ревізії існуючих числових методів при дослідженні нових класів задач, для яких з'явилась надія на їх розв'язання. Однією із таких задач є нелінійна задача геомеханіки. Створені для неї на сьогодні математичні моделі адекватного описання процесів поведінки ґрунту та оцінки ефективності

стратегії та управління цими процесами – це система диференціальних рівнянь в частинних похідних, які є досить складними для отримання аналітичних розв’язків.

В роботі крайова задача геомеханіки розв’язана числовим методом граничних елементів.

Постановка задачі, визначальні співвідношення. В роботі з використанням неасоційованого закону пластичної течії та числового методу граничних елементів (МГЕ) змодельовано поведінку забивної одиночної палі $l = 7,75$ м розміром поперечного перерізу 35×35 см, 167 штук яких слугували фундаментною конструкцією пального поля 10-ти поверхової житлової будівлі в мікрорайоні “Поділля” в м. Вінниці. Фасад будівлі та план пального поля подано на рис. 1 (а, б).

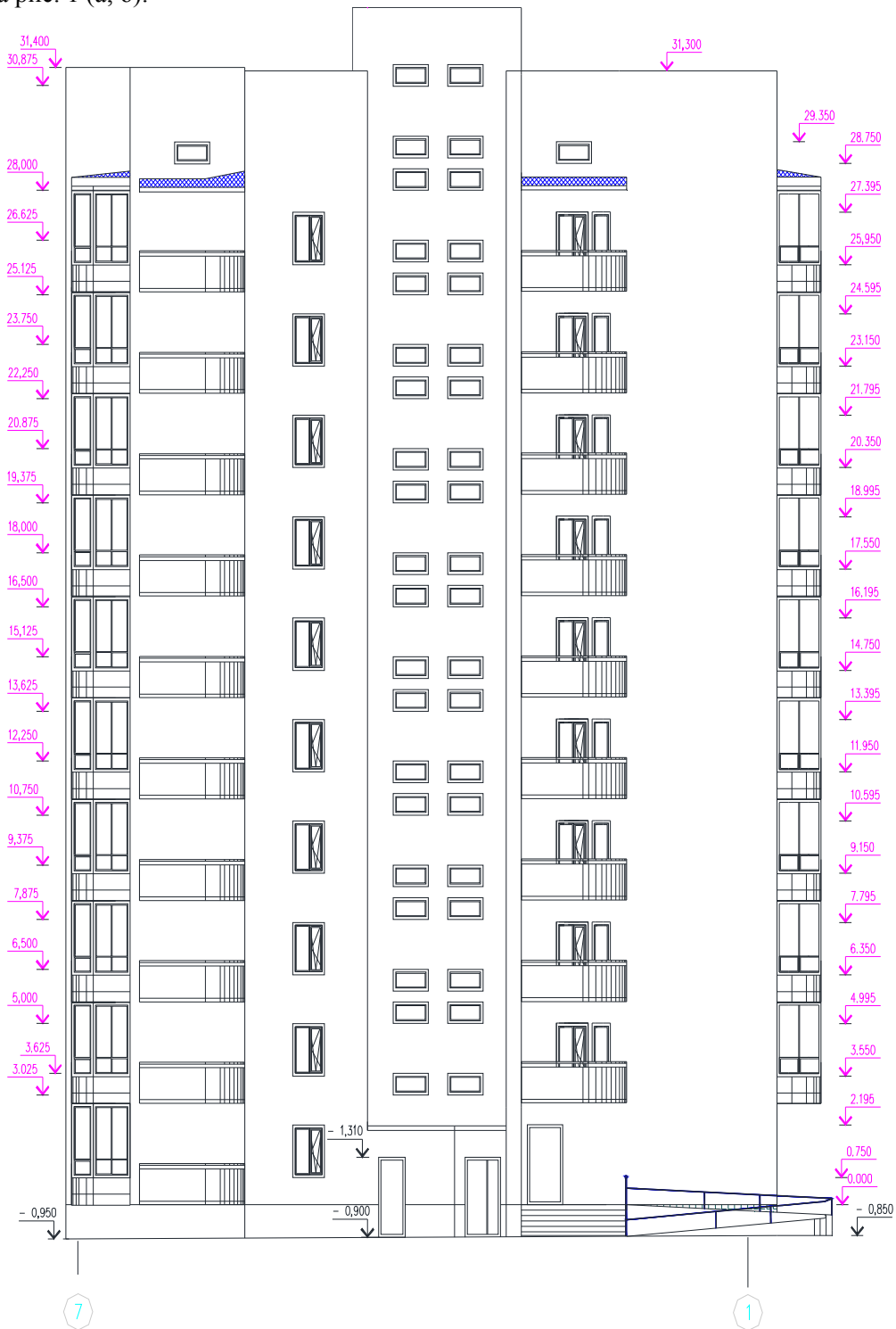


Рисунок 1, а – фасад будівлі

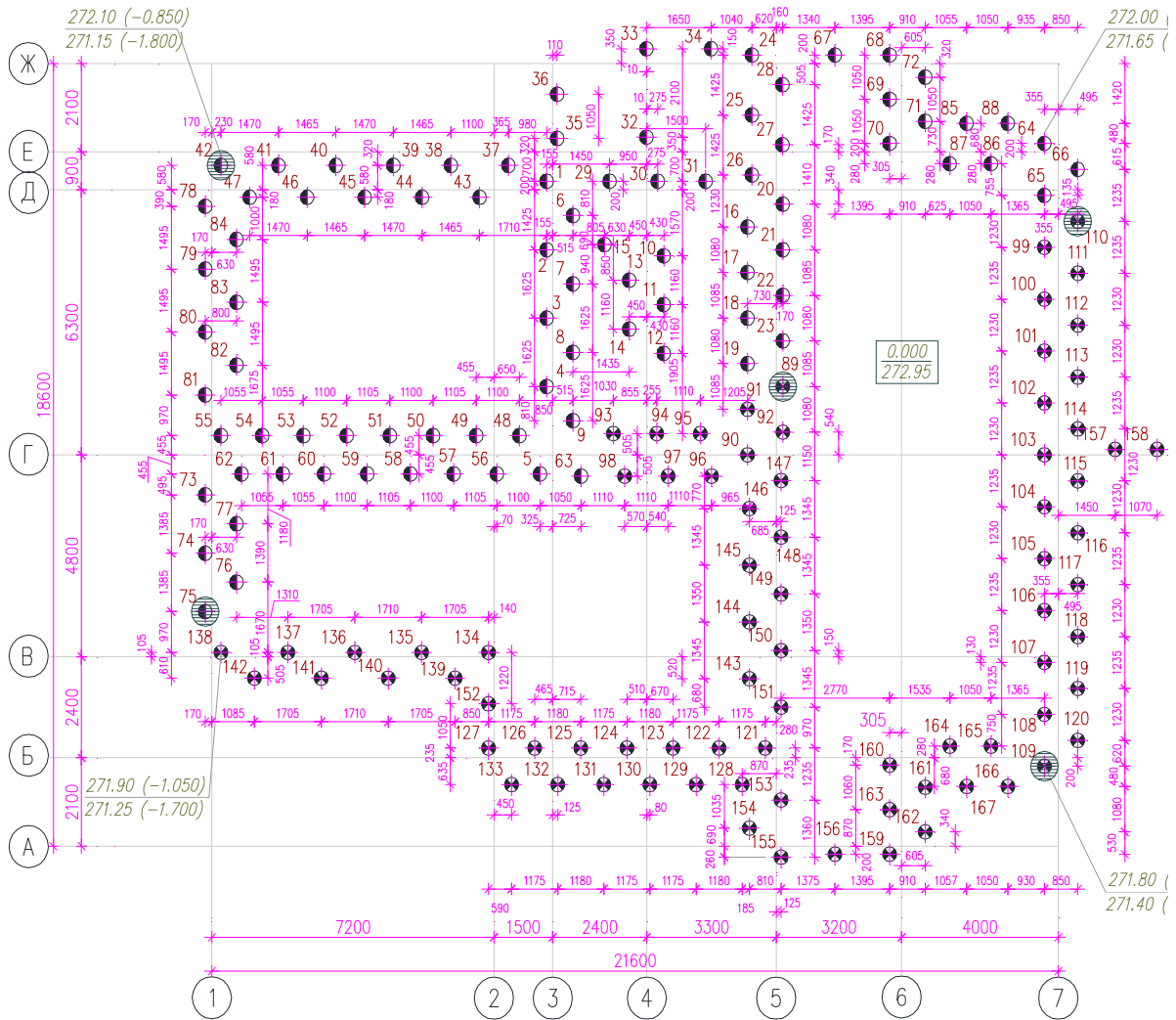


Рисунок 1, б – план пального поля

Прийнято середньозважені характеристики фізико-механічних характеристик ґрунтової основи (це вхідні параметри моделей):

$$E = 15110 \text{ кПа}; \quad \nu = 0.348; \quad \varphi = 19^0; \quad c = 29.385 \text{ кПа};$$

$$\rho = 1.762 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}; \quad \rho^{\min} = 1.61 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}; \quad \rho^{\max} = 2.14 \frac{\text{м}}{\text{м}^3}; \quad p_0 = -1970 \text{ кПа}.$$

- де
- E – модуль деформацій ґрунту;
 - ν – коефіцієнт Пуассона;
 - φ – кут внутрішнього тертя;
 - c – зчеплення ґрунту;
 - ρ щільність ґрунту;
 - ρ^{\min} – мінімальна щільність ґрунту;
 - ρ^{\max} – максимальна щільність ґрунту;
 - p_0 – параметр ґрунту.

При дослідженні полів напружень і деформацій палі ґрунт моделювався пружно-пластичним тілом, тобто до границі текучості залежність між σ - ε – лінійна, потім ґрунт переходить в текучий стан, з'являються лінії ковзання (області розриву суцільності ґрунтової основи). Замість геометричних рівнянь Коші (рівнянь нерозривності, які описують залежності між ε - u). В використанні нелінійної моделі прийнято модифіковану умову пластичності Мізеса-Шлейхера-Боткіна (1):

$$\begin{cases} f = T + \sigma_m tg\psi - \tau_s, & \text{при } \sigma_m \leq p_0, \\ f = T + p_0 tg\psi - \tau_s, & \text{при } \sigma_m > p_0, \end{cases} \quad (1)$$

де T, σ_m – дотичні та нормальні напруження на девіаторній площині;

p_0 – рівень гідростатичного тиску, коли ґрунт працює як суцільне середовище (межа переходу від конусу до циліндру на рис. 2);

τ_s – значення інтенсивності дотичних напружень на девіаторній площині при $\sigma_m = 0$ параметр, аналогічний зчепленню;

ψ – кут тертя на октаедричній площині. Повний тензор деформацій складався із пружної та пластичної складових.

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p. \quad (2)$$

Пружні деформації визначались із закону Гука, для визначення приросту пластичної деформації ε^p використано неасоційований закон пластичної течії.

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{dF}{d\sigma_{ij}}, \quad F \neq f, \quad (3)$$

де F – пластичний потенціал;

f – функція, що визначає умову текучості.

Запропонована модель технічного об'єкту поведінки ґрунту під навантаженням побудована на основі інтегрального рівняння, до якого зведено К. Бреббія [4] систему розрахункових диференціальних рівнянь в частинних похідних:

$$c_{ij} \cdot u_j + \int_{\Gamma} p_{ij}^* u_j d\Gamma = \int_{\Gamma} u_{ij}^* p_j d\Gamma + \int_{\Omega} \sigma^* \varepsilon_{jk}^p d\Omega, \quad (4)$$

де u_j – заданий вектор переміщень та напружень на границі фундаментної конструкції;

p_j – шукане напруження; інтеграл по області Ω (Ω – активна зона навколо фундаментної основи, наведена на (рис. 3) включає вектор швидкостей пластичних деформацій ε_{jk}^p ;

Γ – границя досліджуваного об'єкта;

$u_{ij}^*, p_{ij}^*, \sigma^*$ – сингулярні фундаментальні рішення Р. Міндіна, що відповідають одиничним взбуджуючим впливам в півпросторі [1, 2];

C_{ij} – постійна, з'являється при переводі крайової задачі до інтегрального рівняння (4) для отримання єдиного рішення.

Отриманий графік залежності “навантаження-осідання” для забивної палі довжиною $l=7,75$ м, поперечним перетином 35×35 см наведено на рис. 2.

Несуча спроможність палі згідно розрахунків за МГЕ склала $P=828$ кН ($S=2$ см), та має задовільне співпадання з розрахунком за діючими ДБН – 840 кН.

Розрахунок пального поля будівлі на рис. 1 проведено в двох варіантах. Використано забивні палі С-8-31 в кількості 167 штук. В процесі заглиблення не всі палі були занурені на однакову глибину: з 1-по 41, з 43-по 74, з 76-по 88 були занурені на 7 м. Палі з 90-по 108, з 111-по 167 занурені на 6 м. Дійсну глибину занурення паль взято в основу другого варіанту розрахунку.

Несуча спроможність пального поля із 167 паль визначалась при осіданні $S=1$ см, коли ґрунтова основа працювала ще в лінійній стадії згідно з розрахункового рівняння записаного в матричній формі.

$$A \times Y = F \quad (5)$$

де A – матриця впливу методу граничних елементів, коефіцієнти якої визначались з рішень Р. Міндіна для пружної півплощини являли собою величини переміщень по вузлах граничних елементів бокової поверхні та вістря палі;

Y – вектор шуканих напружень на боковій поверхні палі та під вістря палі (нормальних дотичних напружень);

F – заданий вектор переміщень (прийнято в лінійному розрахунку $S=1$ см.).

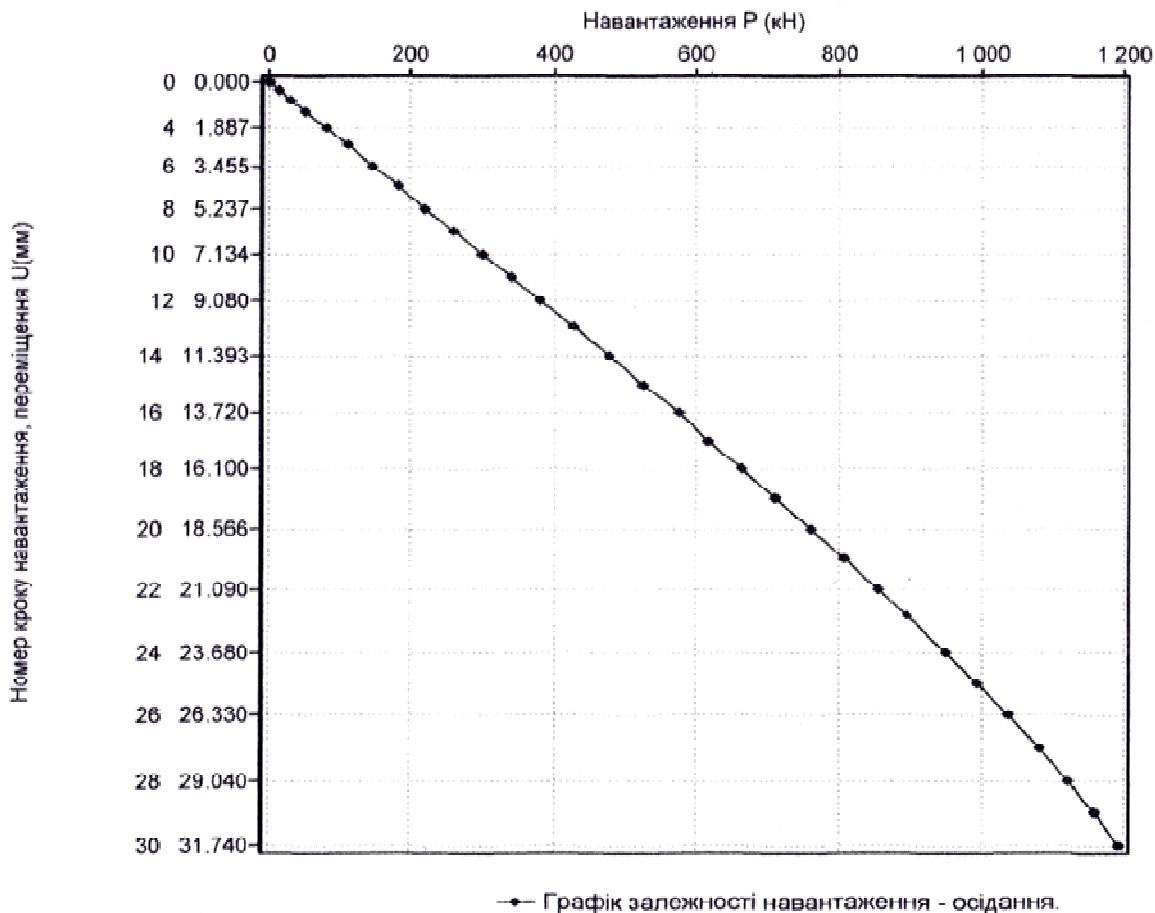


Рисунок 2 – Графік “P-S” навантаження-осідання палі для ґрунтових умов будівельного майданчика мікрорайону “Поділля” в м. Вінниця

Результати розрахунку пального поля подано на рис. 3.

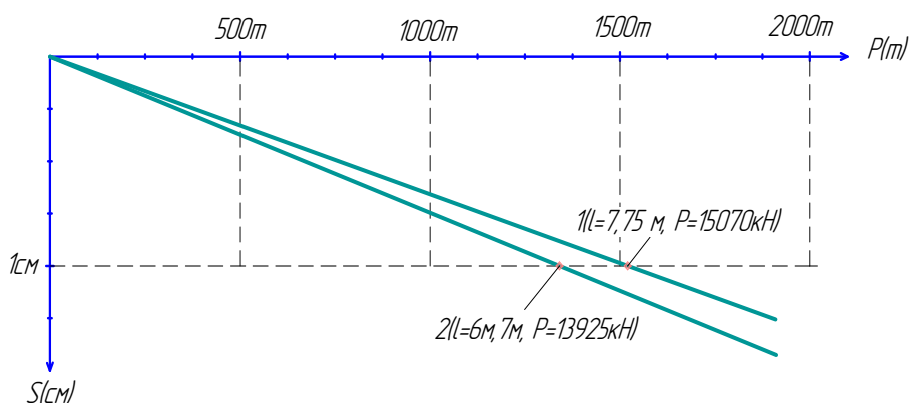


Рисунок 3 – Графік прогнозу за МГЕ сумарної несучої спроможності пального поля 9-ти поверхової будівлі із 167 палі при $S=1$: 1 – пальове поле із палі однакової довжини $l=7,75$ м; 2 – палі різної довжини після зрубки ($l=7$ м з 1-по 41, з 43-по 74, з 76-по 88; $l=6$ м з 90-по 108, з 111-по 167)

Несуча спроможність палі I і II варіантів розрахунку наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння несучої спроможності I і II варіанту паль

№ паль	Варіанти розрахунку	I варіант	II варіант
кутових:			
	№ 41	113,49	107,72
	№ 42	130,7	123,92
	№ 78	120,75	114,52
	№109	101,63	90,87
	№ 120	115,43	103
центральных:			
	№ 92	72,38	63,23
	№ 95	58,13	50,37
	№98	67,95	58,64
середніх крайніх:			
	№81	99,41	94,58
	№ 155	100,4	90,38
	№ 157	97,85	87,64
Сумарна несуча спроможність при S = 1 см.		15069 кН	13924 кН

При вазі 10-типоверхової будівлі 44560 кН очікуване прсідання пальового поля – 3,2 см, що менше допустимого 8 см (згідно ДБН).

Висновок

- Використана методика розрахунку несучої спроможності палі за допомогою числового моделювання за МГЕ дозволяє спрогнозувати нелінійну поведінку палі з урахуванням конкретних фізико-механічних характеристик будівельного майданчика на основі неасоційованого закону теорії пластичної течії.

Використана література

1. Моргун А. С. Комп'ютерні технології розрахунку фундаментних конструкцій на основі методу граничних елементів / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніцевич. – ВНТУ, Вінниця, 2009. – 161 с.
2. Бреббиа К. Методы граничных элементов / К. Бреббиа, Ж. Теллес, Л. Вроубел; перевод с англ. – М.: Мир, 1987. – 524 с.

Моргун Алла Серафимівна – д.т.н., професор, завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Берчак Сергій Петрович – студент Вінницького національного технічного університету.

Моргун Алла Серафимовна - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства Винницкого национального технического университета.

Берчак Сергей Петрович - студент Винницкого национального технического университета.

Morgun Alla Serafimovna - doctor of technical Sciences, Professor, head of Department of industrial and civil construction Vinnytsia national technical University.

Berchak Sergey Petrovich - student Vinnytsia national technical University.