

**Лучковський І.Я., Єсакова С.В., Чепурний Д.О.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

*(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [deptgps1934@gmail.com](mailto:deptgps1934@gmail.com); orcid.org/0000-0002-4423-2781, orcid.org/0000-0001-6598-5929, orcid.org/0000-0001-9494-9388)*

## **МЕТОД ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ РОЗРАХУНКУ ФУНДАМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Метод деформації дозволяє описати напружено-деформований стан конструкції фундаменту через залежність, що пов'язує осідання фундаменту з параметрами жорсткості системи «фундамент-грунт» за різних коефіцієнтів жорсткості по довжині конструкції або глибини фундаменту. Запропонований спосіб може покращити розрахунок напружено-деформованого стану симетрично та асиметрично завантажених фундаментів, що може значно покращити експлуатаційні характеристики будівель і споруд. Деформація фундаментної конструкції описується наближеною кореляцією, включаючи осадку фундаменту та параметр жорсткості системи «фундамент-основа». Розрахунок охоплює різні (лінійні та нелінійні) режими розподілу жорсткості конструкції по довжині конструкції та характеристики розподілу ґрунтової основи

**Ключові слова:** фундамент, розподілене навантаження, основа Вінклера, пружний напівпростір, коефіцієнт жорсткості основи аналіз.

**Вступ.** У зв'язку з розширенням обсягів будівництва та реконструкції [1] будівель і споруд в умовах обмеженого простору міст, а також складних інженерно-геологічних умовах [2], відбувається істотна потреба в використанні несучої здатності ґрунтової основи та розширенні понять про її жорсткість. За останні роки накопичилися нові експериментально-теоретичні дослідження [3-7] дозволяють істотно скорегувати положення чинних норм, а крім того, в ряді випадків отримувати більш економічні або більш надійні споруди. Деформаційний спосіб, дозволяє вдосконалити розрахунки напружено-деформованого стану фундаментів шляхом висловлення деформацій фундаментних конструкцій залежністю осадок фундаменту від жорсткості системи «основа - фундамент» і коефіцієнта жорсткості основи, що змінюється по довжині або глибині фундаментів, що дозволить підвищити якості розрахунків різних варіантів фундаментів.

У своїх дослідженнях до «деформаційного» методу близько підійшов В.А. Флорін [8] при вирішенні контактних задач розрахунку фундаментів на основі з лінійним розподілом коефіцієнта постелі. Їм розглядалися тільки абсолютно жорсткі конструкції. Однак В.А. Флорін показав, як, задавшись законами зміни коефіцієнта постелі і деформацій фундаменту, можна отримати рівняння рівноваги, з яких знаходяться вертикальні переміщення і кут повороту конструкції, а потім і опір основи.

**Матеріали і методи досліджень.** Взавши за основу гіпотезу прямої пропорційності (Вінклера), ми використовуємо здатність такої моделі основи приймати будь-яку змінну жорсткість по довжині конструкції, що передає навантаження на ґрунт. Представляючи собою систему незв'язаних між собою пружин різної жорсткості, така основа здатна в межах подошви фундаментів імітувати розподільну здатність використовуваних нині різних моделей [9]: напівплощина, напівпростір, кінцевий шар [10, 11], шар кінцевої ширини [12] та ін. Однак, за межами подошви «Вінклер» не може врахувати розподільну здатність реального ґрунту з точки зору взаємовпливу з поряд розташованими фундаментами [13]. Таким чином, ми збираємося враховувати тільки «внутрішню» розподільну здатність різних моделей основи. Отримати цю інформацію не складно, користуючись аналітичними та чисельними методами визначення напружено-деформованого стану ґрунтової основи

**Результати досліджень.** Схожі аналітичні розрахунки робив Б.Н. Жемочкін [14], визначаючи епюру реакцій під жорсткими штампами, котрі спиралися б на півпростір і напівплощину. Звичайно, що при симетричному завантаженні штампів виходячі

закономірності розподілу опорів будуть подібні закону зміни коефіцієнта постелі, а рішення по обох моделях дадуть однакові прогини і реакцію основи.

Розглядаючи фундамент з довільним навантаженням (рис. 1), приймаємо закон зміни коефіцієнта постелі у вигляді

$$C_z = C_0 \cdot [1 - 4 \cdot \alpha \cdot \bar{z} \cdot (1 - \bar{z})] \quad (1-a)$$

або

$$C_z = C_0 \cdot \left[ 1 - \alpha \cdot \sqrt[n]{\sin(\pi \cdot \bar{z})} \right], \quad (1-b)$$

де  $C_0$  — крайові значення коефіцієнта постелі;  $\alpha$  — коефіцієнт розподільної здатності основи.

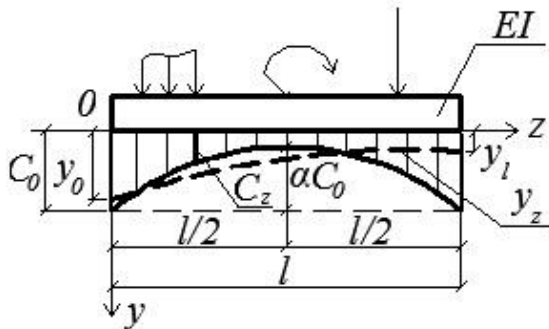


Рис. 1. Розрахункова схема балки і еюра зміни коефіцієнта жорсткості основи

Ввівши коефіцієнт жорсткості конструкції –  $\xi$ , запишемо прогини гнучкої балки у вигляді (рис. 2)

$$y_z = y_0 - \bar{z} \cdot (y_0 - y_l) \cdot [1 + \xi \cdot (1 - \bar{z})], \quad (2-a)$$

звідки при  $\xi = 1$  для конструкцій середньої жорсткості отримаємо

$$y_z = (y_0 - y_l) \cdot (1 - \bar{z})^2 + y_l, \quad (2-b)$$

при  $\xi = 0$  для жорсткого штампа отримаємо

$$y_z = y_0 - \bar{z} \cdot (y_0 - y_l). \quad (2-в)$$

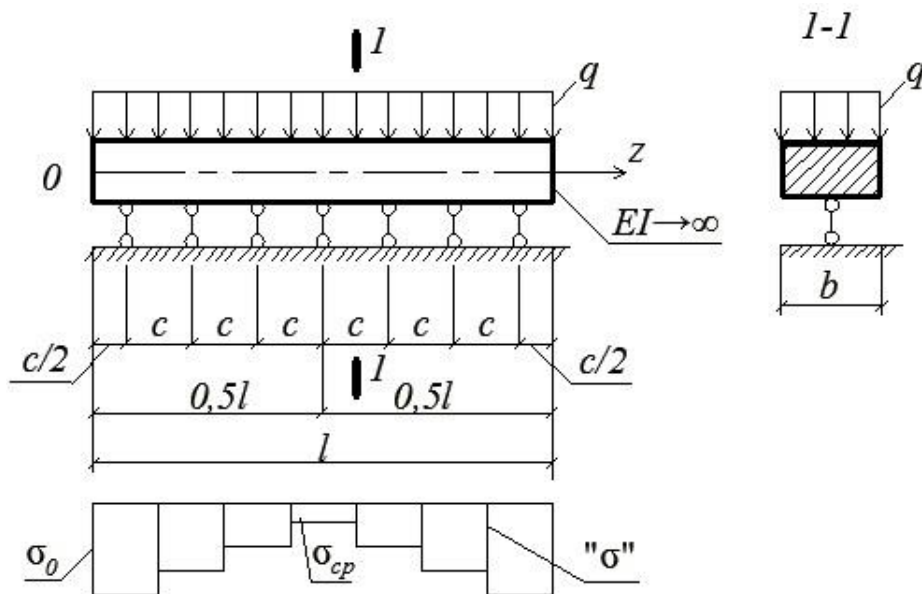


Рис. 2. Розрахункова схема за Б.Н. Жемочкіним

Зв'язок відпору з прогинами балки і жорсткістю основи Вінклера відповідно до гіпотези прямої пропорційності така:

$$\sigma_z = C_z \cdot y_z \quad (3)$$

Підставивши (1) і (2-а) в (3), отримаємо контактні напруги

$$\frac{\sigma_z}{C_0} = y_0 - \bar{z}(y_0 - y_l) \cdot [1 + \xi(1 - \bar{z})] - \alpha \cdot \sqrt[n]{\sin(\pi \cdot \bar{z})} \cdot \{y_0 - (y_0 - y_l)\bar{z} \cdot [1 + \xi(1 - \bar{z})]\} \quad (4)$$

Потім, знайдемо сумарний відпор ґрунту, представивши його з чотирьох доданків –  $A, B, C, D$ , які при використанні (4-а) мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} A &= C_0 \cdot \int_0^1 [y_0 - \bar{z} \cdot (y_0 - y_l) \cdot (1 + \xi) + \xi \cdot (y_0 - y_l) \cdot \bar{z}^2] \cdot dz = \\ &= \frac{1}{6} \cdot C_0 \cdot l \cdot [3 \cdot (y_0 + y_l) - \xi \cdot (y_0 - y_l)]; \\ B &= 4 \cdot C_0 \cdot \alpha \cdot y_0 \cdot \int_0^1 (\bar{z} - \bar{z}^2) \cdot dz = \frac{2}{3} \cdot C_0 \cdot l \cdot \alpha \cdot y_0; \\ C &= 4 \cdot (1 + \xi) \cdot C_0 \cdot \alpha \cdot (y_0 - y_l) \cdot \int_0^1 (\bar{z}^2 - \bar{z}^3) \cdot dz = \frac{1}{3} \cdot C_0 \cdot l \cdot \alpha \cdot (1 + \xi) \cdot (y_0 - y_l); \\ D &= 4 \cdot \xi \cdot C_0 \cdot \alpha \cdot (y_0 - y_l) \cdot \int_0^1 (\bar{z}^3 - \bar{z}^4) \cdot dz = \frac{1}{5} \cdot C_0 \cdot l \cdot \alpha \cdot \xi \cdot (y_0 - y_l). \end{aligned} \right\}$$

Тепер отримаємо після деяких перетворень сумарний відпор у вигляді

$$\int_0^l \sigma_z dz = \frac{C_0 \cdot l}{6} \cdot \{y_0 \cdot [(3 - 2 \cdot \alpha) - \xi(1 - 0.8 \cdot \alpha)] + y_l \cdot [(3 - 2 \cdot \alpha) + \xi(1 - 0.8 \cdot \alpha)]\} \quad (5-a)$$

Якщо використовувати залежність (4), то отримаємо за допомогою чисельного інтегрування

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_0 \cdot l} \cdot \int_0^1 \sigma_z \cdot dz &= y_0 - \frac{1}{2} \cdot (y_0 - y_l) \cdot (1 + \xi) + \frac{1}{3} \cdot (y_0 - y_l) \cdot \xi - 0.8594 \cdot \alpha \cdot y_0 + \\ &+ 0.4297 \cdot \alpha \cdot (y_0 - y_l) \cdot (1 + \xi) - 0.2753 \cdot \alpha \cdot \xi \cdot (y_0 - y_l), \end{aligned}$$

що досить близько до рівності (5-а).

Тому зупинимося на варіанті  $a$ ).

Вираз (4) запишемо інакше

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_z}{C_0} &= y_0 \cdot \{(1 - \bar{z}) - (\xi + 4 \cdot \alpha) \cdot F_1 + 4 \cdot \alpha \cdot (1 + \xi) \cdot F_2 - 4 \cdot \alpha \cdot \xi \cdot F_3\} + \\ &+ y_l \cdot \{\bar{z} + \xi \cdot F_1 - 4 \cdot \alpha \cdot (1 + \xi) \cdot F_2 + 4 \cdot \alpha \cdot \xi \cdot F_3\}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{де } F_1 = \bar{z} \cdot (1 - \bar{z}); \quad F_2 = \bar{z}^2 \cdot (1 - \bar{z}); \quad F_3 = \bar{z}^3 \cdot (1 - \bar{z}).$$

Далі неважко знайти площі цих функцій  $f_i$  і відстані  $z_i^0$  до осі  $y$  (в інтервалі  $0 \leq \bar{z} \leq 1$ ):

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{1}{6}; & f_2 &= \frac{1}{12}; & f_3 &= \frac{1}{20} \\ z_1^0 &= \frac{1}{2}; & z_2^0 &= \frac{3}{5}; & z_3^0 &= \frac{2}{3}. \end{aligned} \right\}$$

Тепер, використавши (5-а) и (6), складемо два рівняння рівноваги

$$\sum N_0 = 0 \text{ і } \sum M_0 = 0.$$

Попередньо зробимо ряд перетворень.

Сума моментів відпору (6) отримає запис

$$\begin{aligned} M_\sigma &= y_0 \cdot \left[ 1 \cdot \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} - (\xi + 4 \cdot \alpha) \cdot f_1 \cdot \bar{z}_1^0 + 4 \cdot \alpha \cdot (1 + \xi) \cdot f_2 \cdot \bar{z}_2^0 - 4 \cdot \alpha \cdot \xi \cdot f_3 \cdot \bar{z}_3^0 \right] + \\ &+ y_l \cdot \left[ \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} + \xi \cdot f_1 \cdot \bar{z}_1^0 - 4 \cdot \alpha \cdot (1 + \xi) \cdot f_2 \cdot \bar{z}_2^0 + 4 \cdot \alpha \cdot \xi \cdot f_3 \cdot \bar{z}_3^0 \right] = \\ &= C_0 \cdot l^2 \cdot \left\{ y_0 \cdot \left[ \frac{1}{6} - \frac{1}{12} \cdot (\xi + 4 \cdot \alpha) + \frac{4}{20} \cdot (1 + \xi) \cdot \alpha - \frac{2}{15} \cdot \alpha \cdot \xi \right] + \right. \\ &+ y_l \cdot \left[ \frac{1}{3} + \frac{\xi}{12} - \frac{4}{20} \cdot (1 + \xi) \cdot \alpha + \frac{2}{15} \cdot \alpha \cdot \xi \right] \left. \right\} = \\ &= \frac{C_0 \cdot l^2}{60} \cdot [(10 - 8 \cdot \alpha - 5 \cdot \xi + 4 \cdot \alpha \cdot \xi) \cdot y_0 + (20 - 12 \cdot \alpha + 5 \cdot \xi - 4 \cdot \alpha \cdot \xi) \cdot y_l]. \end{aligned}$$

Після цього система рівнянь рівноваги набуває вигляду

$$\left. \begin{aligned} y_0 \cdot [(3 - 2 \cdot \alpha) - \xi \cdot (1 - 0.8 \cdot \alpha)] + y_l \cdot [(3 - 2 \cdot \alpha) + \xi \cdot (1 - 0.8 \cdot \alpha)] &= \frac{6 \cdot \sum N_0}{C_0 \cdot l} \\ y_0 \cdot (10 - 8 \cdot \alpha - 5 \cdot \xi + 4 \cdot \alpha \cdot \xi) + y_l \cdot (20 - 12 \cdot \alpha + 5 \cdot \xi - 4 \cdot \alpha \cdot \xi) &= \frac{60 \cdot \sum M_0}{C_0 \cdot l^2} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де  $\sum N_0$  – сума проєкцій на вісь  $y$  зовнішніх сил;  $\sum M_0$  – сума моментів зовнішніх сил відносно початку координат ( $z = 0$ ).

З системи (7) можна отримати ряд часткових випадків рішення задач розрахунку фундаментів деформаційним методом, наприклад:

а) напівпростір ( $\alpha \cong 0.5$ ):

$$\left. \begin{aligned} y_0 \cdot (2 - 0.6 \cdot \xi) + y_l \cdot (2 + 0.6 \cdot \xi) &= \frac{6 \cdot \sum N_0}{C_0 \cdot l} \\ y_0 \cdot (6 - 3 \cdot \xi) + y_l \cdot (14 + 3 \cdot \xi) &= \frac{60 \cdot \sum M_0}{C_0 \cdot l^2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

б) середня жорсткість фундаментів ( $\xi = 1$ ):

$$\left. \begin{aligned} y_0 \cdot (2 - 1.2 \cdot \alpha) + y_l \cdot (4 - 2.8 \cdot \alpha) &= \frac{6 \cdot \sum N_0}{C_0 \cdot l} \\ y_0 \cdot (5 - 4 \cdot \alpha) + y_l \cdot (25 - 16 \cdot \alpha) &= \frac{60 \cdot \sum M_0}{C_0 \cdot l^2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

в) абсолютно жорсткі фундаменти ( $\xi = 0$ ):

$$\left. \begin{aligned} (y_0 + y_l) \cdot (3 - 2 \cdot \alpha) &= \frac{6 \cdot \sum N_0}{C_0 \cdot l} \\ y_0 \cdot (10 - 8 \cdot \alpha) + y_l \cdot (20 - 12 \cdot \alpha) &= \frac{60 \cdot \sum M_0}{C_0 \cdot l^2} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

г) напівпростір и середня жорсткість конструкцій ( $\alpha = 0.5$ ;  $\xi = 1$ ):

$$\left. \begin{aligned} 1.4 \cdot y_0 + 2.6 \cdot y_l &= \frac{6 \cdot \sum N_0}{C_0 \cdot l} \\ 3 \cdot y_0 + 17 \cdot y_l &= \frac{60 \cdot \sum M_0}{C_0 \cdot l^2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

**Завантаженість жорсткого фундаменту симетричним навантаженням**

Так як при симетричному навантаженні осадки кінців конструкції рівні  $y_0 = y_l$ , то з будь-якого рівняння системи (10) отримаємо

$$y_z = y_0 = y_l = \frac{3}{(3-2 \cdot \alpha)} \cdot \frac{\sum N_0}{C_0 \cdot l} \quad (12)$$

Потім за формулою (3) знайдемо розподіл контактних напружень. Наприклад, при рівномірно розподіленому навантаженні  $q$

$$\sigma_z = \frac{3}{(3-2\cdot\alpha)} \cdot [1 - 4 \cdot \alpha \cdot \bar{z} \cdot (1 - \bar{z})]; \quad (13)$$

$$\alpha = 1 - \frac{\bar{\sigma}_{0.5}}{\bar{\sigma}_0} = 1 - \frac{\bar{\sigma}_{cp}}{\bar{\sigma}_0}.$$

Для визначення значень коефіцієнта розподільчої здатності  $\alpha$  скористаємося, наприклад, даними таблиці VI роботи Б.Н. Жемочкіна [14].

Фундаментну балку розділено їм на 9 рівних частин і з'єднано опорними стрижнями з основою (рис. 2).

Складемо табл. 1 значень  $\bar{\sigma}_0$  та  $\bar{\sigma}_{cp}$  для півплощини та півпростору при різних співвідношеннях  $l/b$  по методу Б.Н. Жемочкіна і по залежності (13).

Таблиця 1 – Таблиця значень  $\bar{\sigma}_0, \bar{\sigma}_{cp}$  і  $\alpha$

Метод	$\bar{\sigma} = \sigma/q$	Модель основи				
		Напівплощина	Напівпростір при $l/b$ рівному			
			3.0	4.5	9.0	13.5
Б.Н. Жемочкіна	$\bar{\sigma}_0 = \sigma_0/q$	1.892	1.494	1.408	1.296	1.247
	$\bar{\sigma}_{cp} = \sigma_{cp}/q$	0.688	0.799	0.846	0.889	0.900
	$\alpha$	0.636	0.47	0.40	0.32	0.28
Запропонований	$\bar{\sigma}_0 = \sigma_0/q$	1.875	1.5	1.429	1.304	1.25
	$\bar{\sigma}_{cp} = \sigma_{cp}/q$	0.563	0.75	0.928	0.978	0.875
	$\alpha = 1 - \frac{\bar{\sigma}_{cp}}{\bar{\sigma}_0}$	0.7	0.5	0.45	0.35	0.3

Як видно з табл. 1, запропоновані значення коефіцієнта  $\alpha$  досить точно відображують розподільну здатність напівплощини і напівпростору.

Наприклад, при розрахунку силосного корпусу елеватора (приклад 5 в роботі [14]) отримано  $\bar{\sigma}_0 = 1.494$ ;  $\bar{\sigma}_{cp} = 0.798$ , що досить близько до наведених в табл. 1 значень  $\bar{\sigma}_0 = 1.5$ ;  $\bar{\sigma}_{cp} = 0.75$ , отриманих нами при  $\alpha = 0.5$ , що відповідають  $l/b = 3$ , як прийнято у Б.Н. Жемочкіна ( $l/b = \frac{30}{10} = 3$ ).

На рис. 3 представлено порівняння розподілу  $\bar{\sigma}_z$  що отриманий по нашому методу и і методом інших авторів під симетрично навантаженим жорстким штампом.

**Висновки.** Представлені вище розрахункові підходи можна об'єднати в єдиний «деформаційний» метод, який дозволяє:

- виразити деформацію фундаментної конструкції наближеною (або точною) залежністю, що включає осадки кінців фундаменту і невідомий (або заданий) параметр жорсткості системи «основа-фундамент» -  $\xi$ ;
- використати довільний закон зміни коефіцієнта жорсткості основи (пропорційності), в тому числі що імітує розподільні властивості існуючих моделей, що володіють розподільними властивостями (напівплощина, напівпростір, основа кінцевої товщини та ін.);
- встановити закон зміни відпору основи уздовж конструкції;
- використовуючи умови рівноваги, інтегруванням знайти невідомі переміщення.

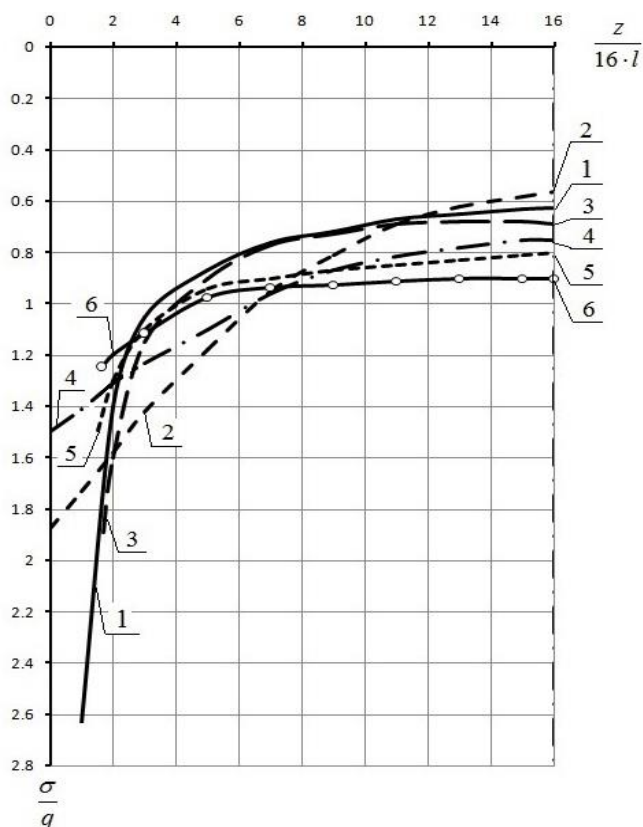


Рис. 3. Розподіл  $\overline{\sigma_z}$  під симетрично завантаженим жорстким штампом

1. Розв'язання плоскої задачі для жорсткого штамбу (I. К.Е. Єгоров та Г.В. Крашеннінікова; 2. Наше при  $\alpha=0.7$ ; 3. Б.Н. Жемочкін); II. Розв'язання для напівпростору (4. Наше при  $\alpha=0.5$ ; 5. Б.Н. Жемочкін ( $l=3b$ ); 6. Б.Н. Жемочкін ( $l=13.5b$ );

ЛІТЕРАТУРА:

1. Куликов Г., Казьмина А., Кондратьева Н. Взаимосвязь предпроектных исследований и характера реконструкции жилища. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. Lublin: Polish Academy of sciences, 2011. Tom 13. С. 145-149.
2. Novskiy A.V., Bichev I.K., Novskiy V.A., Yeresko E.G., Vivcharuk V.V. Results of determining the deformation characteristics of a limestone-shell rock depending on its anisotropy. Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2020. (78). pp.152-158.
3. Martin Achmus, Klaus Thienken On the behavior of piles in non-cohesive soil under combined horizontal and loading. Acta Geotechnica, 2010. Vol. 5. P. 199-210.
4. Maycon Andre de Almeda, Miriam Goncalves, Sidnei Helder Cardoso Teixeira. Horizontal Bearing Capacity of Piles in a Lateritic Soil. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2011. January. P. 59-69.
5. L. Reese, W. Cox Analysis of laterally loaded Piles in Sand. "6th Ann. Offshore Technol. Conf." Houston. Tex., 1974. Vol. 2. P. 473-483.
6. Есакова С.В., Лучковский И.Я. Исследование напряженно-деформированного состояния горизонтально нагруженных моделей свай в

REFERENCES:

1. Kulikov G., Kaz'mina A., Kondrat'eva N. Vzaimosvyaz' predproektnykh issledovaniy i haraktera rekonstrukcii zhilishcha. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. Lublin: Polish Academy of sciences, 2011. Tom 13. С. 145-149.
2. Novskiy A.V., Bichev I.K., Novskiy V.A., Yeresko E.G., Vivcharuk V.V. Results of determining the deformation characteristics of a limestone-shell rock depending on its anisotropy. Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 2020. (78). pp.152-158
3. Martin Achmus, Klaus Thienken On the behavior of piles in non-cohesive soil under combined horizontal and loading. Acta Geotechnica, 2010. Vol. 5. P. 199-210.
4. Maycon Andre de Almeda, Miriam Goncalves, Sidnei Helder Cardoso Teixeira. Horizontal Bearing Capacity of Piles in a Lateritic Soil. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2011. January. P. 59-69.
5. L. Reese, W. Cox Analysis of laterally loaded Piles in Sand. "6th Ann. Offshore Technol. Conf." Houston. Tex., 1974. Vol. 2. P. 473-483.
6. Yesakova S.V., Luchkovskij I.YA. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gorizontally nagruzhennykh modelej svaj v

- песчаном основани. Науковий вісник будівництва. 2011. Вип. 65. С. 220-225.
7. Лучковский И., Есакова С. Экспериментальное обоснование расчетной модели горизонтально нагруженных свай с экспоненциальным распределением коэффициента жесткости основания. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. Lublin: Polish Academy of sciences, 2014. Vol. 16., No 6. С. 109-116.
  8. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Л.-М.: Госстройиздат, 1959. Т. 1. 357 с.
  9. Штаеман И.Я. Контактные задачи теории упругости. Москва: Гостехиздат, 1949. 270 с.
  10. Горбунов-Посадов М.И. Осадки фундаментов на слое грунта, подстилаемом скальным основанием М.: Госстройиздат, 1946. 60 с.
  11. Егоров К.Е. К вопросу деформации основания конечной толщины. Сборник трудов НИИОСП «Механика грунтов». 1958. Вып. 34. С. 5-33.
  12. Крашенинникова Г.В. Расчет балок на упругом основании конечной глубины. М.-Л.: Издательство «Энергия», 1964. 100 с.
  13. Лучковский И.Я., Есакова С.В. Применение расчетной модели Б.Н. Жемочкина к расчету поперечно нагруженных свай при нелинейном распределении жесткости грунта по глубине заделки. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, 2014. Вип. 1 (75). С. 39-44.
  14. Жемочкин Б.Н., Синицын А.П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1962. 239 с.
7. Luchkovskij I., Yesakova S. Eksperimental'noe obosnovanie raschetnoj modeli gorizontal'no nagruzhennyh svaj s eksponencial'nym raspredeleniem koefficienta zhestkosti osnovaniya. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. Lublin: Polish Academy of sciences, 2014. Vol. 16., No 6. С. 109-116.
  8. Florin V.A. Osnovy mekhaniki gruntov. L.-M.: Gosstrojizdat, 1959. T. 1. 357 s.
  9. Shtaeman I.YA. Kontaktnye zadachi teorii uprugosti. Moskva: Gostekhizdat, 1949. 270 s.
  10. Gorbunov-Posadov M.I. Osadki fundamentov na sloe grunta, podstilaemom skal'nym osnovaniem M.: Gosstrojizdat, 1946. 60 s.
  11. Egorov K.E. K voprosu deformacii osnovaniya konechnoj tolshchiny. Sbornik trudov NIIOSP «Mekhanika gruntov». 1958. Vyp. 34. S. 5-33.
  12. Krashennnikova G.V. Raschet balok na uprugom osnovanii konechnoj glubiny. M.-L.: Izdatel'stvo «Energija», 1964. 100 s.
  13. Luchkovskij I.YA., Esakova S.V. Primenenie raschetnoj modeli B.N. Zhemochkina k raschetu poperechno nagruzhennyh svaj pri nelinejnom raspredelenii zhestkosti grunta po glubine zadelki. Naukovij visnik budivnictva. Harkiv: HNUBA, 2014. Vyp. 1 (75). S. 39-44.
  14. Zhemochkin B.N., Sinicyn A.P. Prakticheskie metody rascheta fundamentnyh balok i plit na uprugom osnovanii. M.:Gosstrojizdat, 1962. 239 s.

**Luchkovsky I.Y., Chepurnyi D.O, Yesakova S.V. DEVELOPMENT OF PRESSURE ON RETAINING WALLS THAT KEEPS THE SLOPE WITH DOUBLE-LAYER FILLING AND SURFACE LOADS.**

The unceasing process of urbanization all over the world and the constantly growing cost of land plots allotted for development makes investors, scientists and engineers look for and find ways to reduce the unit cost of construction of useful areas of buildings and structures for various purposes.

The most effective way to reduce the unit cost of construction of useful areas of buildings and structures is to increase their number of storeys and depths of underground parts. But with an increase in the height of buildings, the loads on their foundations also increase, stimulating scientists and engineers to search for more advanced methods and methods for solving problems related to determining the rational parameters of the foundations of buildings and structures, improving the quality and reliability of the calculation methods used.

The results obtained using modern methods of calculating foundations in some cases lead to an overestimation of the costs of building materials, in some - to a decrease in comparison with the real strength and deformation indicators of the foundations of construction objects.

This book describes a deformation method that allows you to improve the calculations of the stress-strain state of pile and some other types of foundations by expressing the deformations of foundation structures by the dependence of the foundation settlement on the rigidity of the "foundation-foundation" system and the coefficient of foundation rigidity, which varies along the length or depth of the foundations, which will significantly improve the performance of buildings and structures.

Based on the hypothesis of direct proportionality (Winkler), we use the ability of such a model of the basis to take any variable stiffness along the length of the structure that transmits the load to the ground. Representing a system of unconnected springs of different stiffness, such a base is able to mimic the resolution of the currently used different models within the base of the foundations. However, outside the sole, Winkler cannot consider the resolution of the real soil in terms of interaction with adjacent foundations. Thus, we are going to take into account only the "internal" resolution of different models of the basis. It is not difficult to obtain this information using analytical and numerical methods for determining the stress-strain state of the soil base.

**Key words:** foundation, distributed load, Winkler base, elastic half-space, base stiffness coefficient.