

## Формування НДС у фундаментах зерносушильних комплексів при зміні параметрів ґрунтів

Василь Підлуцький<sup>1</sup>, Олександр Литвин<sup>2</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,  
<sup>1</sup>vasiliytsar@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1936-3990  
<sup>2</sup>sasha32582@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2818-3457

DOI: 10.32347/0475-1132.41.2020.55-63

**Анотація.** Досліджено роботу пальового фундаменту зерносушильного комплексу при зміні параметрів ґрунтів, визначених лабораторними та польовими методами. Проведено два варіанти розрахунків за допомогою числового моделювання за методом скінченних елементів: 1) з використанням характеристик ґрунтів, які визначено лабораторними методами; 2) з використанням характеристик ґрунтів, які визначено польовими методами. В роботі проаналізовано напружено-деформований стану фундаментних конструкцій зерносушильного комплексу, а саме: перерозподіл зусиль в палях, осідання фундаментних конструкцій, згинальні моменти та площа робочого армування у фундаментній плиті.

В роботі зроблено наголос на використанні саме пальових фундаментів для зерносушильних комплексів через виникнення багато негативних факторів при влаштування плитних фундаментів. Основні з них: низькі показники ґрунтів у верхній зоні ґрунтового масиву; спорудження декілька силосів один біля одного, що визначає їх взаємовплив; нерівномірність завантаження - розвантаження силосів; вибір методики розрахунків, яка коректно описує параметри ґрунтів та етапи завантаження і розвантаження силосів. Також в роботі наведено проблемні питання при проектуванні пальових фундаментів для зерносушильних комплексів. Наведено результати дослідження формування напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій при різних параметрах ґрунтів.

Дослідження проведено у глинистих ґрунтах твердої та напівтвердої консистенції. В основі пальового фундаменту залягають супіски твердої та суглинки м'якопластичні.

В роботі показано, що при підвищенні пара-



**Василь Підлуцький**  
доцент кафедри  
геотехніки  
к.т.н., доц.



**Олександр Литвин**  
асистент кафедри  
геотехніки

метрів ґрунтів осідання зменшується осідання фундаментної плити. Перерозподіл зусиль між палями має схожий характер, але за рахунок підвищення жорсткості основи, фундаментна плита передає навантаження на основу, тому практично всі палі розвантажуються в межах 5...10%. При цьому згинальні моменти у фундаментній плиті зменшуються, що вимагає зменшення армування робочою арматурою. Це дозволяє проектувати надійні та економічні рішення пальових фундаментів зерносушильних комплексів.

**Ключові слова.** Пальовий фундамент, параметри ґрунтів, зерносушильний комплекс, силос, числове моделювання.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На сьогоднішній день у сільськогосподарській сфері актуальним є питання зберігання зернових. Для цього в світовій практиці зводять зерносушильні комплекси круглої форми в плані для зручності завантаження та розвантаження зернових, а та-

кож для автоматичного механізованого очищення даних споруд по колу. Дані споруди отримали поширену назву «силосів», що часто вживається у практиці. Досить часто одного силосу на об'єкті є недостатньо, тому споруджують одразу декілька, розташовуючи їх один біля одного в безпосередній близькості (Рис. 1). Для таких споруд в якості фундаментів використовують плитні або пальові фундаменти. Як правило, при влаштуванні плитних фундаментів необхідною умовою є наявність ґрунтів в основі з надійними характеристиками з токи зору сприймання навантаження. Також необхідно враховувати взаємовплив силосів одне на одного при нерівномірному їх завантаженні та розвантаженні. Не врахування даних факторів може призвести до нерівномірних осідань сусідніх силосів та їх перекосів. У випадку наявності з поверхні майданчика слабких ґрунтів або ґрунтів з особливими властивостями, тобто таких, які не можуть нести навантаження від силосів та зерна, логічно проектувати пальові фундаменти, які передають навантаження на шари ґрунтів, що знаходяться на значній глибині. Але при проектуванні пальових фундаментів також присутні свої особливості. Найпоширеніші з них – це вибір параметрів та технології паль, методики розрахунків, моделі ґрунтового середовища та їх параметрів. Адже силоси влаштовують у сільські польовій місцевості, які значно віддалені від мегаполісів, в яких зосереджені потужні машини та механізми для влаштування паль. Також на вибір даних параметрів впливає і те, що механізми достатньої потужності не можливо доставити на об'єкт через відсутність транспортної розв'язки на етапі влаштування фундаментів. Важливим фактором є і те, що при проектуванні пальового фундаменту виникають питання з вибору методики розрахунків та параметрів ґрунтової основи. Адже, саме вибір характеристик ґрунтів визначає перерозподіл зусиль у конструкціях фундаменту та безпосередньо впливає на його вартість та терміни влаштування.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Питанням дослідження впливу параметрів ґрунтової основи на формування напружено деформованого стану фундаментів займалися багато вчених, серед них Бойко І.П., Зоценко М.Л., Винников Ю.Л., Сахаров В.О., Харченко М.О. та ін. [1, 2, 4, 7-10]. Вивчення саме перерозподілу зусиль у фундаментних конструкціях (та вибору їх типів) у «силосах» на сьогоднішній день наукових праць не так і багато, враховуючи широке використання. Знайдені роботи авторів Зоценко М.Л., Винников Ю.Л., Пічугін С.Ф. [5], де автори описують проблемність використання плитних фундаментів силосів на основі виникнення критичних нерівномірних осідань основи та необхідність підсилення слабких основ ґрунтоцементними палями, а також важливість використання параметрів ґрунтів, визначених за компресійними випробуваннями, без підвищувальних коефіцієнтів. У роботі Винникова Ю.Л., Харченка М.О., Марченка В.І. [3] автори роблять акцент на використанні коректних моделей деформування ґрунтової основи, які описують зміну параметрів ґрунтів та етапи завантаження та розвантаження силосів при виконанні числових розрахунків за методом скінченних елементів (МСЕ).

## МЕТА РОБОТИ

Дослідити формування напружено-деформованого стану (НДС) у фундаментних конструкціях зерносушильних комплексів при зміні параметрів ґрунтів за допомогою числового моделювання за методом скінченних елементів (МСЕ).

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження виконано на прикладі реального об'єкту: металевий зерносушильний комплекс (силос) діаметром 22,0 м та вагою 600 кН, який вміщує зерно вагою до 50 000 кН. Для створення умов зберігання зерна передбачено аероднище товщиною 500 мм з вентиляційними каналами для по-

дачі повітря. Для обслуговування силосу та розвантаження зерна проектом передбачено по центру силосу галерею висотою 1,8 м та шириною 1,6 м. Фундаментом для даного силосу обрано залізобетонну фундаментну плиту товщиною 500 мм на пальовому фундаменті (Рис. 2). Палі виконано за бурін'єкційною технологією діаметром 620 мм довжиною 8,0 м; кількість палей 180 шт.

Загальний вигляд зерносушильних комплексів та їх фундаментів наведено на Рис. 1 та Рис. 2 відповідно.



Рис.1. Зерносушильні комплекси.  
Fig.1. Grain drying complexes (silos).

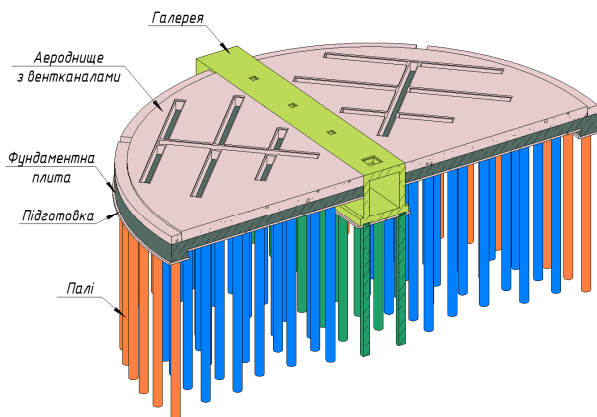


Рис.2. Загальний вид фундаментів зерносушильного комплексу.  
Fig.2. General view of the foundations of the grain drying complex.

Ґрунти ділянки дослідження: глинисті ґрунти твердої та напівтвердої консистенції лесоподібні, з поверхні - просідаючі. В основі палей залягають суписки тверді. Характерний інженерно-геологічний розріз будівельного майданчика наведено на Рис. 4. В Табл.1 представлено основні фізико-механічні характеристики ґрунтів основи.

Розрахункова модель включає в себе всі

елементи силосу та фундаментів, навантаження від силосу прикладене як лінійно-розподілене по периметру, а від зерна - як рівномірно-розподілене. Ґрунтова основа задавалася як суцільне багат шарове об'ємне середовище (Рис. 3), в якому враховані нашарування ґрунтів та їх фізико-механічні характеристики. Ґрунт у розрахунковій схемі заданий як модель пружного середовища, в якому враховані щільність ґрунту  $\rho$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu$ , модуль загальних деформацій  $E$ . В процесі дослідження аналізувалися наступні результати: зусилля в палях (Рис.6), осідання фундаментних конструкцій (Рис.5), згинальні моменти та площа армування у фундаментній плиті (Рис.7).

Скінченно-елементна модель складається з об'ємного ґрунтового масиву у відповідності до інженерно-геологічних досліджень, пальового фундаменту та конструкцій галереї і аероднища силосу.

Низ ґрунтового масиву обмежений площиною, яка закріплена від вертикальних переміщень (вважається, що осіданнями можна знехтувати на цій глибині). Також в'язі накладені на бічні площини, дані граничні умови перешкоджають нормальним переміщенням.

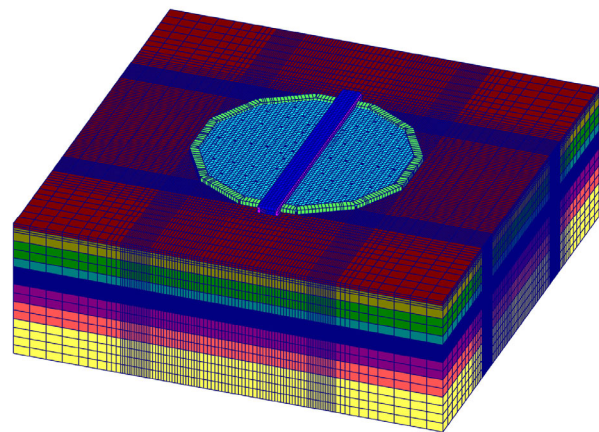


Рис.3. Скінченно-елементна модель силосу та ґрунтового масиву.  
Fig.3. Finite element model of silage and soil mass.

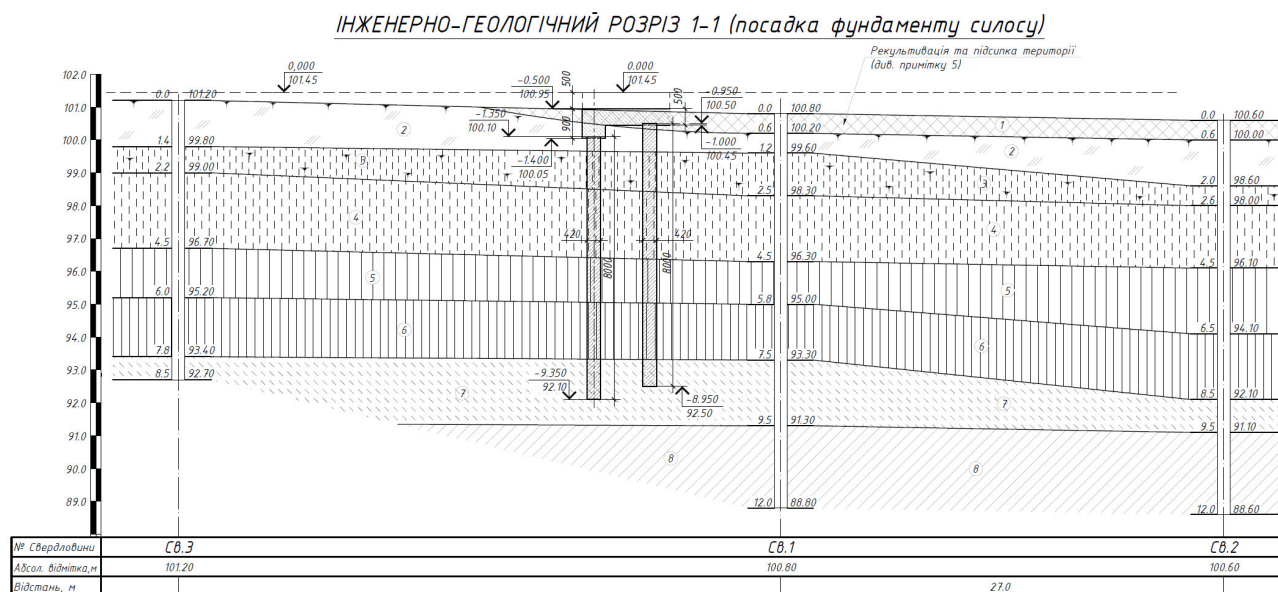


Рис.4. Інженерно-геологічний розріз майданчика будівництва та посадка фундаментів.  
 Fig.4. Engineering-geological section of the construction site and landing of the foundations.

Табл. 1. Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів будівельного майданчика  
 Table 1. Indicators of physical and mechanical properties of the soils of the site

№ ПЕ	Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	Природна вологість, д.о.	Коефіцієнт пористості, д.о.	Кут внутрішнього тертя, градуси	Питоме зчеплення, кПа	Модуль деформації, лабораторні методи, МПа	Модуль деформації, польові методи, МПа
	$\rho$	$W$	$e$	$\varphi$	$c$	$E$	$E$
2	1,65	0,21	0,810	20	2	8	15
3	1,68	0,16	0,805	20	5	10	19
4	1,79	0,14	0,692	23	4	18	36
5	1,83	0,19	0,752	21	14	16	33
6	1,87	0,23	0,799	19	15	12	29
7	1,92	0,13	0,656	22	4	20	50
8	1,89	0,20	0,726	20	12	15	31

Примітка. Найменування ґрунтів:

ПЕ-1: Насипний ґрунт (будівельне сміття): цегла, пісок, щебінь.

ПЕ-2: Ґрунтово-рослинний шар - суглинок твердої консистенції, вміст орган. речовин: 3.7-3.9%.

ПЕ-3: Супісок лесоподібний, твердої консистенції, просідаючий. Вміст органічних речовин: 1.2%.

ПЕ-4: Супісок лесоподібний, твердої консистенції, просідаючий.

ПЕ-5: Суглинок лесоподібний, твердої консистенції, просідаючий.

ПЕ-6: Суглинок лесоподібний, туго-пластичної консистенції, непросідаючий.

ПЕ-7: Супісок від твердої до пластичної консистенції.

ПЕ-8: Суглинок м'яко-пластичної консистенції.

Розташування, потужність та механічні властивості ґрунтових шарів відповідають даним інженерно-геологічних вишукувань. Розрахунки напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій з ґрунтовою основою виконувались методом скінчених елементів (МСЕ) у тривимірній постановці. Виконувалося згущення сітки по периметру конструкцій силосу, безпосередньо під фундаментною плитою та галереєю, а також під вістрам паль

Несуча здатність паль та розрахункове навантаження на палі визначене за формулами норм [6] та становить відповідно  $Fd=450$  кН та  $N=320$  кН. Для підтвердження несучої здатності паль було запропоновано виконати натурні випробування паль статичним навантаженням згідно окремо розробленої програми випробування.

Спершу були проведені розрахунки із застосуванням параметрів ґрунтів, які визначені за лабораторними методами (Табл. 1).

В результаті попередніх досліджень було встановлено, що перерозподіл зусиль між палями (Рис. 6,а) розподіляється наступним чином. Найбільші зусилля в палях виявилися в зоні виходу галереї (50...58 тс). Це пояснюється тим, що в даних місцях присутня концентрація жорсткості конструкцій та палі є контурними, які навантажуються в більшій мірі за рахунок роботи їх бічної поверхні. Також найбільші зусилля в палях фіксуються в середній зоні фундаментної плити в межах найбільшого їх завантаження (42...47 тс). В інших зонах зусилля в палях знаходяться в межах 35...39 тс.

Аналізуючи осідання фундаментних конструкцій, показано, що максимальні значення формуються в центральній зоні фундаментної плити та становлять 43 мм, а мінімальні – на контурі плити із значеннями 23 мм (Рис. 5,а). Дані значення не виходять за межі допустимих.

При аналізі згинальних моментів  $M_x$ ,  $M_y$  у фундаментній плиті встановлено, що їх переважаючі значення знаходяться в середній зоні фундаментної плити, які відповідають площі робочої арматури  $20,11$  см<sup>2</sup> (Рис. 7,а). Максимальні значення розташо-

вані в зоні концентраторів зусиль в зоні виходу галереї та відповідають площі робочої арматури  $34,60$  см<sup>2</sup>.

Дослідження напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій силосу показало, значення внутрішніх зусиль у фундаментній плиті перевищують величини, які були визначені на інших аналогічних об'єктах, але в інших ґрунтових умовах. Значення згинальних моментів відповідали площі робочої арматури  $8...13$  см<sup>2</sup>, що значно менше отриманих даних на об'єкті дослідження.

Тому постало завдання в'яснити в чому причина таких суттєвих збільшень згинальних моментів у фундаментній плиті, адже витрати на армування фундаментної будуть значно збільшені. Для цього було проведено уточнення параметрів ґрунтів польовими методами шляхом проведення статичного зондування. Результати отриманих характеристик ґрунтів польовими методами наведені в Табл. 1. Також для зменшення осідання фундаментної плити та включення її в роботу було прийняте рішення про ущільнення ґрунтів основи безпосередньо під плитою. Як видно з таблиці, модуль деформації «E» несучих ґрунтів збільшився в 1,8...2,4 рази по відношенню до значень, визначених лабораторними методами. В основі палі модуль деформації «E» ґрунтів збільшився в 2,1...2,5 рази.

Наступним етапом стало проведення серії розрахунків числовим методом з оновленими параметрами ґрунтів, які визначені польовими методами за статичним зондуванням. Інші вихідні дані не змінювалися.

В результаті виконаних досліджень встановлено, що максимальні осідання фундаментної плити зменшилися на 38% та становлять 31 мм, мінімальні – на 43% та становлять 16 мм (Рис. 5, б). Це пояснюється покращенням параметрів ґрунтів безпосередньо під подошвою фундаментної плити.

Перерозподіл зусиль в палях (Рис. 6, б) має аналогічний характер як і при першому розрахунку, але відмічаємо що значення зусиль зменшилися практично у всіх палях на 5...10%, а в окремих палях до 15%.



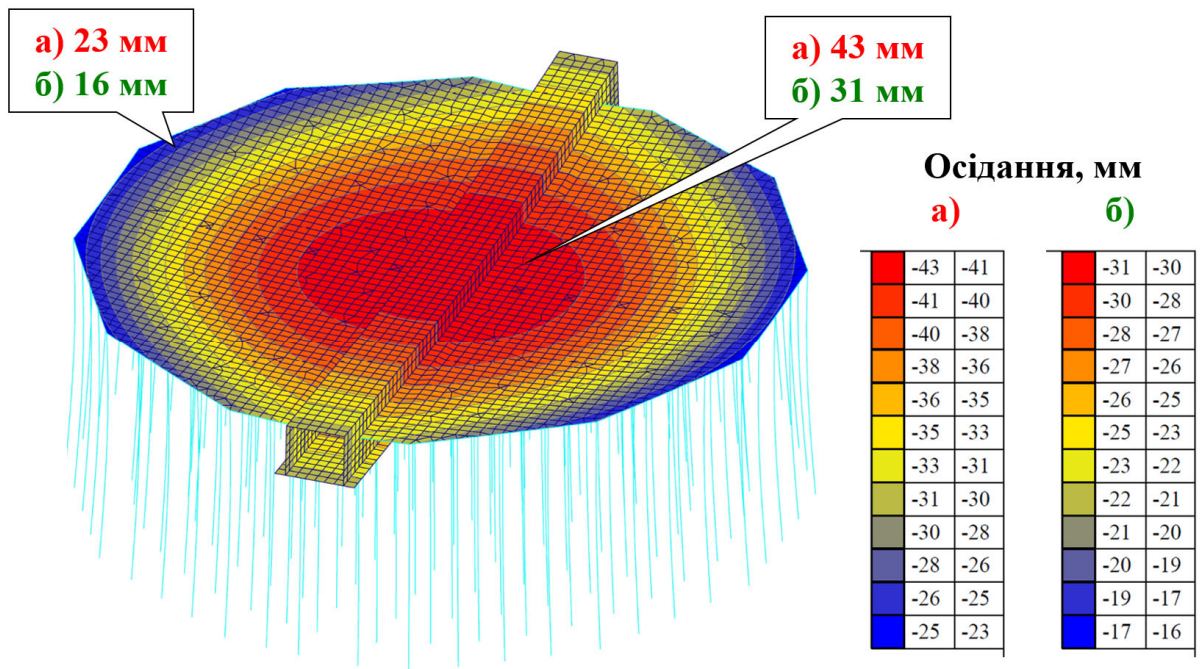


Рис.5. Осідання фундаментних конструкцій: *a* – параметри ґрунтів визначені лабораторними методами; *b* – параметри ґрунтів визначені польовими методами.

Fig.5. Settlement of foundation structures: *a* – soil parameters are determined by laboratory methods; *b* – soil parameters are determined by field methods.

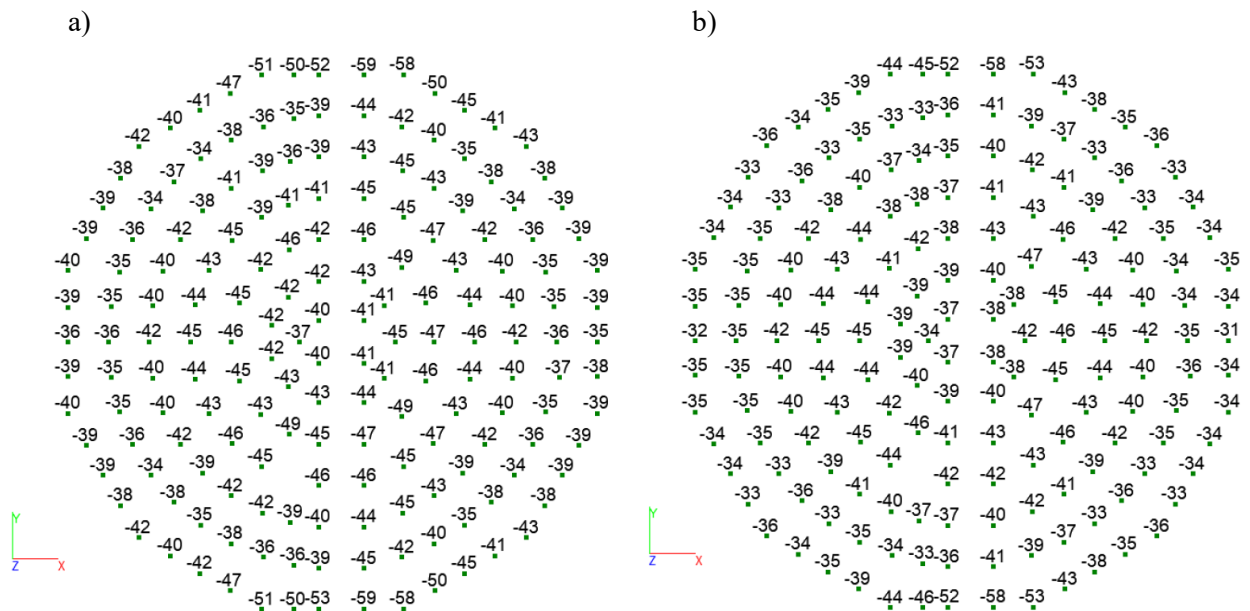


Рис.6. Зусилля в палях (тс): *a* – параметри ґрунтів визначені лабораторними методами; *b* – параметри ґрунтів визначені польовими методами.

Fig.6. Forces in the piles (ts): *a* – soil parameters are determined by laboratory methods; *b* – soil parameters are determined by field methods.

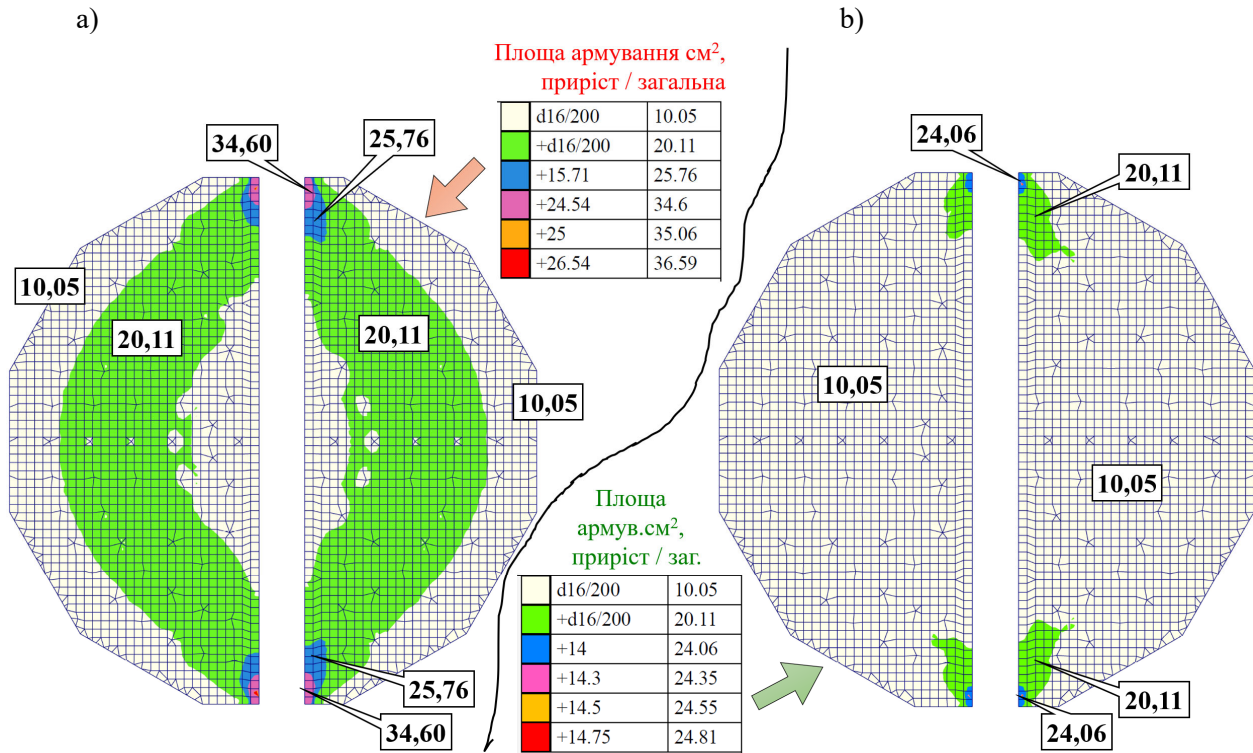


Рис.7. Площа робочої арматури у фундаментній плиті, нижня зона по осі «X» (см<sup>2</sup>): *a* – параметри ґрунтів визначені лабораторними методами; *b* – параметри ґрунтів визначені польовими методами.

Fig.7. The area of the working reinforcement in the foundation slab, the lower zone along the «X» axis (cm<sup>2</sup>): *a* – soil parameters are determined by laboratory methods; *b* – soil parameters are determined by field methods.

Найменше зменшення зусиль в палях (1...2 %) відбулося в межах проходження галереї. Це пов'язано з тим, що частина навантаження від зерна та конструкції силосу передалося на підсилену основу через фундаментну плиту.

Зміна параметрів ґрунтів суттєво вплинула на згинальні моменти у фундаментній плиті (Рис. 7, б). Як видно з ізополів розповсюдження робочої арматури, їх значення в переважній більшості не перевищує 10,05 см<sup>2</sup>, що менше за попереднє значення в два рази. В зонах виходу галереї (зони концентрації) площа робочої арматури становить 20,11 см<sup>2</sup>, а в пікових місцях – 24,06 см<sup>2</sup>, що менше попереднього значення відповідно на 28 % та 44 % і значно наближає отримані дані до результатів, які не одноразово застосовувалися у практиці.

Тому саме всебічне дослідження інженерно-геологічних умов будівельного майданчика та детальний аналіз впливу параметрів ґрунтів на перерозподіл зусиль у фун-

даментних конструкціях дали змогу отримати надійні та економічні рішення фундаментів зерносушільних комплексів.

### ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведені дослідження дають змогу зробити наступні висновки:

Результати розрахунків показали, що при врахуванні різних параметрів ґрунтів, які отримані на основі лабораторних та польових досліджень (зондуванням), одержано принципово різні НДС у фундаментах зерносушільних комплексів. Це підтверджує вплив параметрів ґрунтів на формування напружено-деформованого стану.

Встановлено, що при збільшенні параметрів міцності ґрунтів основи в середньому у 2 рази зменшується осідання фундаментної плити в межах 40 %. При цьому армування нижньої зони плити зменшується вдвічі: при лабораторному методі визначення площа арматури становить 20,11 см<sup>2</sup>, а при

польовому методі визначення (за даними зондування) площа арматури становить  $10,05 \text{ см}^2$ . Це проходить за рахунок включення в роботу ґрунту під плитою, яка стає плитою на пружній основі, а не лише на окремих порах (палях). Саме цей фактор пояснює розвантаження паль в межах 5...10 % через включення плити в роботу. Конструкція галереї спрацювала як ферма (балка Віренделя): низ розтягнений пояс, верх стиснутий, що вносить характер формування НДС фундаментної плити, що часом не враховується проектувальниками.

Для надійного та економічного проектування фундаментів зерносушильних комплексів необхідно проводити комплексні числові розрахунки з врахуванням комбінації складного завантаження і розвантаження, а також використовуючи різні параметри ґрунтів основи. Для цього необхідно проводити всебічну оцінку ґрунтових умов будівельного майданчика, використовуючи різні методи дослідження, як лабораторні, так і польові.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко І.П. Особливості взаємодії пального фундаментів під висотними будинками з їх основою. / І.П.Бойко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2006. – Вип. 30. – С. 3-8.
2. Бойко И.П. Свайные фундаменты на нелинейно-деформируемом основании: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.02 / Бойко Игорь Петрович. – М.: НИИОСП, 1988. – 372с.
3. Винников Ю.Л. Розрахунок фундаментної плити силосів на армованій стохастичній основі / Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, В.І. Марченко // *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. – Дніпро: ДНУЗТ, 2012.– Вип. 3. – С. 26 – 32.
4. Зоценко М.Л. Сучасні проблеми пального фундаментобудування / М.Л. Зоценко // *Будівельні конструкції*. – К.: НДІБК. – 2004. – Вип.61. – т.2. – С. 33-39.
5. Зоценко М.Л. Особливості визначення осідань основ плитних фундаментів зернохранилищ силосного типу / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, С.Ф. Пічугін, М.В. Бібік, В.І. Марченко, М.І. Лапін // *Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во)*. – Полтава: ПНТУ, 2009.– Вип. 2 (27). – С. 101 – 110.

6. Основи та фундаменти споруд. Зміна № 1: ДБН В.2.1–10–2009. – [Чинний від 2011–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55с.
7. Підлуцький В.Л. Взаємодія фундаментної плити з палями різної довжини з ґрунтовою багатопоровою основою: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Підлуцький Василь Леонідович. – К.: КНУБА, 2013. – 230с.
8. Сахаров В.О. Моделирование взаимодействия пального фундаменту з нелінійною основою в умовах прибудови: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Сахаров Володимир Олександрович. – К.: КНУБА, 2005. – 215 с.
9. Улицкий В.М. Расчеты и интерактивный мониторинг при строительстве зданий в сложных грунтовых условиях / В.М. Улицкий, К.Г. Шашкин, А.Г. Шашкин // *Технологии безопасности и инженерные системы № 2(13)*. – С-Пб: Стройиздат. – 2007. – С. 16-19.
10. Boyko I.P. Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system / I.P. Boyko, V.S. Boyandin, A.E. Delnik, A.L. Kozak, A.S. Sakharov // *Archive of Applied Mechanics № 62*. – 1992. – p. 316-328.

## REFERENCES

1. Boyko I.P. (2006). Osoblyvosti vzaiemodii palovykh fundamentiv pid vysotnymy budynkamy z yikh osnovoiu [Features of the interaction of pile foundations under high-rise buildings with their foundation]. *Osnovu i fundamenty: Mizhvidomchyj naukovotekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 30, 3-8 (in Ukrainian).
2. Boyko I.P. (1988). Svajnye fundamenty na nelinejno-deformiruemom osnovanii [Pile foundations on a non-linearly deformable base]. *Dys. doktora tekhn. nauk: 05.23.02*. Moscow: NIIO SP, 372 (in Russian).
3. Vynnykov Y.L., Kharchenko M.O., Marchenko V.I. (2012). Rozrakhunok fundamentnoi plyty sylosiv na armovaniy stokhastychniy osnovi [Design of foundation plate of grain silage on reinforced stochastic soil base]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*. Dnipro: DNURT, 2, 26-32 (in Ukrainian).
4. Zotsenko M.L. (2004). Suchasni problem pal'ovogo fundamentobuduvannya [Modern problems of pile foundation buildings]. *Budiveli ni konstrukciyi*. Kyiv: NDIBK, 61 (2), 33-39 (in Ukrainian).



5. Zotsenko M.L., Vynnykov Y.L., Pichuhin S.F., Bibik M.V., Marchenko V.I., Lapin M.I. (2009). Osoblyvosti vyznachennia osidan osnov plytynykh fundamentiv zernoskhovnyshch sylosnoho typu [Peculiarities of determining the subsidence of the foundations of slab foundations of grain-silo-type storages]. *Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo)*. Poltava: PNTU, 2 (27), 101-110 (in Ukrainian).
6. Osnovy ta fundamenti sporud. Zmina 1: DBN V.2.1-10-2009. (2011). Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 55 (in Ukrainian).
7. Pidlutskyi V.L. (2013). Vzayemodiya fundamentnoi plyty z palyamy riznoyi dovzhyny z gruntovoyu bagatosharovoyu osnovoyu [Interaction of a base plate with piles of different lengths with a soil multilayer basis]. *Dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.02*. Kyiv: KNUBA, 230 (in Ukrainian).
8. Sakharov V.O. (2005). Modelyuvannya vzayemodiyi paljovogo fundamentu z nelinejnoyu osnovoyu v umovakh prybudovy [Modeling of the interaction of a pile foundation with a nonlinear basis in the conditions of an extension]. *Dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.02*. Kyiv: KNUBA, 215 (in Ukrainian).
9. Ulitskiy V.M., Shashkin K.G., Shashkin A.G. (2007). Raschjoty i interaktivnyj monitoring pri stroitel'stve zdaniy v slozhnykh gruntovykh usloviyakh [Calculations and interactive monitoring during the construction of buildings in difficult ground conditions]. *Tekhnologii bezopasnosti i inzhenernye sistemy*. S-Petersburg: Strojizdat, 2(13), 16-19 (in Russian).
10. Boyko I.P., Boyandin V.S., Delnik A.E., Kozak A.L., Sakharov A.S. (1992). Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system. *Archive of Applied Mechanics*, 62, 316-328.

### Formation of stress-strain state in the foundations of grain drying complexes when changing soil parameters

Vasyl Pidlutskyi,  
Oleksandr Lytvyn

**Summary.** The work of the pile foundation of the grain drying complex when changing the parameters of soils determined by laboratory and field methods has been studied. Two variants of calculations with the help of numerical modeling

by the finite element method were carried out: 1) using the characteristics of soils, which were determined by laboratory methods; 2) using the characteristics of soils, which are determined by field methods. The stress-strain state of the foundation structures of the grain drying complex is analyzed in the work, namely: redistribution of forces in the piles, subsidence of the foundation structures, bending moments and the area of working reinforcement in the foundation slab.

The paper emphasizes the use of pile foundations for grain drying complexes due to the emergence of many negative factors in the installation of slab foundations. The main ones are: low soil indicators in the upper zone of the soil massif; construction of several silos next to each other, which determines their interaction; uneven loading - unloading of silos; the choice of calculation method, which correctly describes the parameters of the soil and the stages of loading and unloading of silos. The paper also presents problematic issues in the design of pile foundations for grain dryers. The results of the study of the formation of the stress-strain state of the foundation structures at different soil parameters are presented.

The study was conducted in clay soils of solid and semi-solid consistency. The pile foundation is based on hard sandy loams and soft-plastic loams.

The paper shows that with increasing soil parameters of the base decreases the subsidence of the foundation slab. The redistribution of forces between the piles has a similar character, but due to the increased rigidity of the base, the foundation plate transfers the load to the base, so almost all piles are unloaded within 5... 10%. At the same time bending moments in the base plate are reduced that demands reduction of reinforcement by working armature. This allows you to design reliable and economical solutions for pile foundations of grain dryers.

**Key words.** Pile foundation, soil parameters, grain drying complex, silage, numerical modeling.