

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 519.624.624.044.624.15

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПАЛЬОВОГО ПОЛЯ БУДІВЛІ НА СХОДОВІЙ
ТЕРАСІ БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

А. В. Ніцевич

Прораховано оптимальний варіант пальового поля будівлі. Розрахунок проводився за методом граничних елементів з урахуванням взаємовпливу активних зон сусідніх паль та нерівномірної поверхні будівельного майданчика (сходова тераса). Результати моделювання підтвердили наявність суттєвого перерозподілу зусиль між палями пальового поля.

Просчитано оптимальный вариант свайного поля здания. Расчёт проводился за методом граничных элементов с учётом взаимовлияния активных зон соседних свай и неравномерной поверхности строительной площадки (ступенчатая терраса). Результаты моделирования подтвердили наличие существенного перераспределения усилий свай свайного поля.

It is counted an optimum variant of the pile field of the building. Calculation was spent behind a method of boundary elements taking into account interference of active zones of the next piles and a non-uniform surface of a building site (a step terrace). The results of modeling have confirmed presence of essential redistribution of the piles tension of the pile field.

Вступ

Головним завданням проектування фундаментної конструкції будівлі є забезпечення її міцності при найменшій матеріалоемності та кошторисній вартості. Деформації ґрунтового середовища характеризуються одночасним протіканням великої кількості складних фізико-механічних процесів. Тому в умовах сучасного будівництва встає нагальна потреба достовірного прогнозування перерозподілу зусиль під фундаментною конструкцією. Одним із найперспективніших видів фундаментів є пальове поле. Та в теорії пальового поля є невизначеності, що занижують можливість точного його прогнозування, однією з цих невизначеностей є врахування взаємодії паль.

Метою роботи є дослідження наявності перерозподілу зусиль в пальовому полі будівлі та вибір оптимального варіанта пальового поля з використанням нової методики розрахунку та програмного комплексу за методом граничних елементів (МГЕ) із врахуванням паль різної довжини та сходової тераси будівельного майданчика.

Постановка задачі, визначальні співвідношення

В даній роботі для конкретних умов будівельного майданчика (сходова тераса, рис. 1) за методикою викладеною в монографіях [1, 3] та відповідно складеною програмою розрахунку на основі МГЕ прораховано оптимальний варіант проектного рішення пальового поля монолітно-каркасного інженерно-побутового корпусу Дністровської ГАЕС.

Початковий варіант рішення фундаментної конструкції даної будівлі (рис. 2) – 124 буроін'єкційні палі-стояка діаметром $d=0,82$ м, що спираються на алевроліт (рис. 3). Крім того, пальове поле складалось із паль різної довжини (14,80 м, 12,73 м, 10,70 м), виконаних відповідно в трьох відмітках по висоті (з № 1 по № 24 – +82,800; з № 25 по №85 – +80,730; з № 86 по № 124 – +77,700).

Вага даної будівлі, визначена за допомогою ПК «Ліра», складає 112840 кН. При кількості паль $n=124$ шт. в середньому на 1 палю припадає 910 кН. В дійсності такий варіант пальового поля з дуже великим запасом забезпечує вагу будівлі, рішення не економічне. З огляду на відносно хороші ґрунтові умови було внесено пропозицію заміни паль-стояків висячими палями, що дає можливість отримання значного економічного ефекту. За числовим МГЕ було прораховано несучу спроможність пальового поля із врахуванням взаємовпливу активних зон сусідніх паль та урахуванням сходової тераси будівельного майданчика.

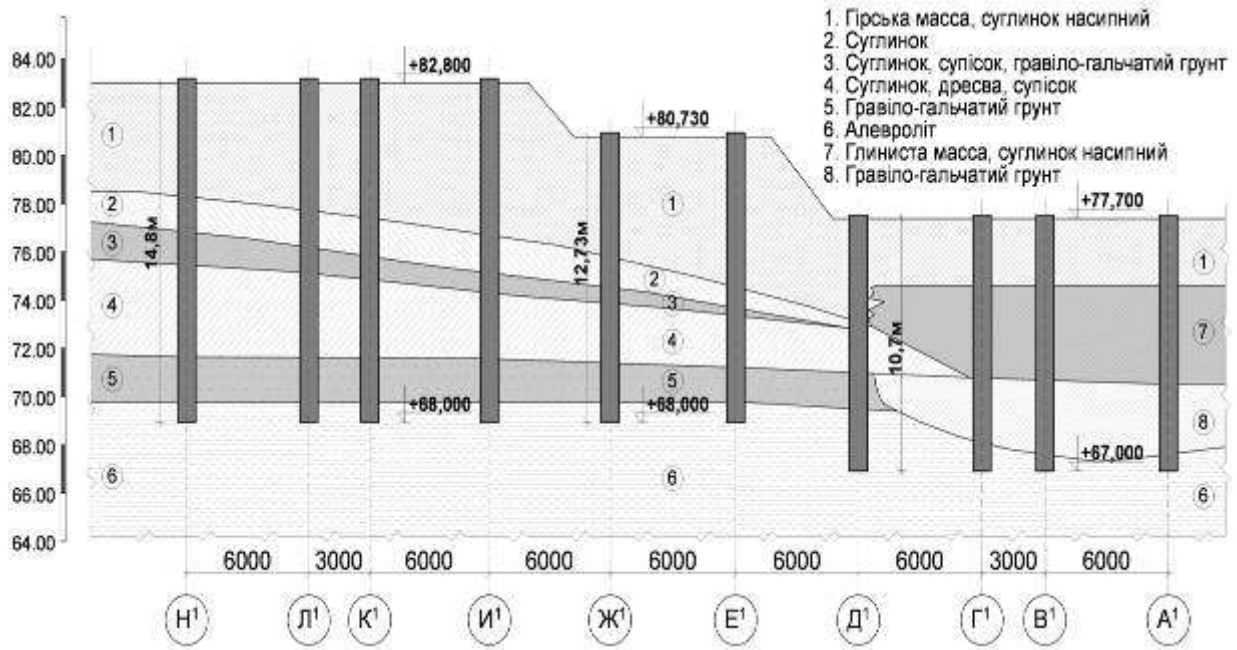


Рис. 1. Геологічний розріз та схема влаштування паль-стояків \varnothing 820 мм та довжиною 14,8 м, 12,73 м та 10,7 м

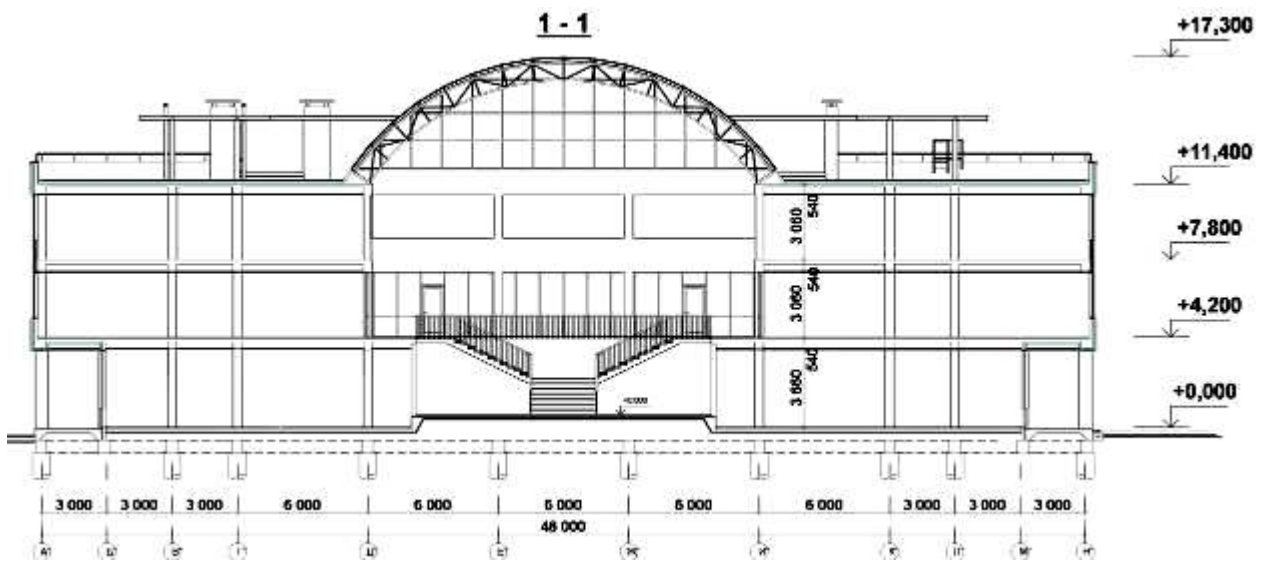


Рис. 2. Розріз 1-1 інженерно-побутового корпусу Дністровської ГАЕС

Поведінка ґрунту описувалась моделлю пружно-пластичного стиску із зсувом пористого середовища на основі нелінійних методів рішень геотехнічних задач теорії пластичної течії з введенням функції, що виражає поверхню течії (1), та кінематичних співвідношень пластичної течії (2) [1, 3]. Досягнення межі текучості пов'язане з приходом граничної рівноваги відповідно до умови Мізеса–Шлейхера–Боткіна:

$$\begin{cases} f = \sigma_i + \sigma \cdot \operatorname{tg} \psi - \tau_s, \text{ при } \sigma \leq p_0 \\ f = \sigma_i + p_0 \cdot \operatorname{tg} \psi - \tau_s, \text{ при } \sigma > p_0 \end{cases}, \quad (1)$$

де σ – гідростатичний тиск;
 σ_i – інтенсивність девіатора напруг;

ψ – кут внутрішнього тертя;
 τ_s – параметр, аналогічний зчепленню;
 p_0 – параметр ґрунтового середовища.

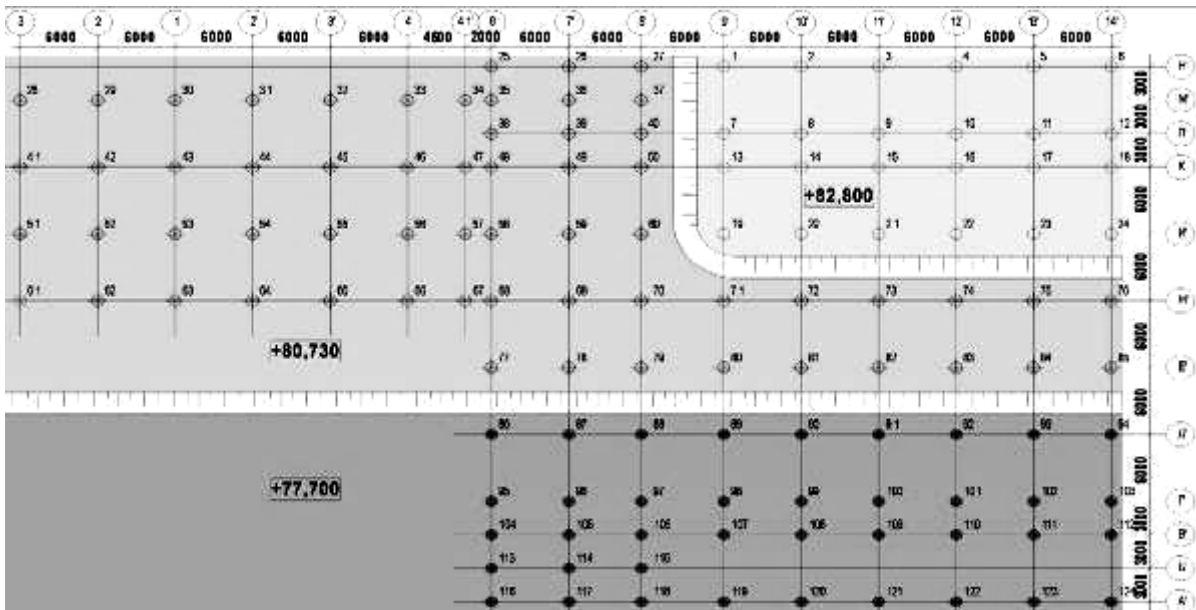


Рис. 3. Схема розташування 124-х бурін'єкційних паль \varnothing 820 мм

Взаємозв'язок між швидкостями пластичних деформацій і напруженнями при роботі ґрунту в нелінійній стадії зсувів описувався за неасоційованим законом пластичної течії:

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{dF}{d\sigma_{ij}}, F \neq f, \quad (2)$$

де F – пластичний потенціал, функція історії деформування,
 f – критерій переходу до пластичного стану;

λ – скалярний коефіцієнт простого навантаження, який визначається в ході рішення пластичної задачі;

$d\sigma_{ij}$, $d\varepsilon_{ij}^p$ – приріст тензора напружень і тензора пластичних деформацій [1, 3].

Дана модель ввійшла в основу алгоритму розрахунку за МГЕ та програми визначення напружено-деформованого стану пального поля з урахуванням взаємовпливу активних зон сусідніх паль за умови їх різної довжини, а також дану програму вдосконалено з метою врахування нерівномірної поверхні будівельного майданчика (сходова тераса).

Вхідними параметрами моделі є координати розташування паль в пальному полі, довжина паль, а також середньозважені фізико-механічні характеристики ґрунту ($E=22,1$ МПа; $\nu=0,337$; $\varphi=0,48$; $c=5$ кПа; $\rho=2,09$ т/м³; $\rho_{\min}=1,43$ т/м³; $\rho_{\max}=2,10$ т/м³).

Результати розрахунків за МГЕ

В I-му запропонованому варіанті пального поля було вирішено зменшити довжину паль: на найвищій терасі з 14,8 м до 12,8 м (24 шт.); на середній терасі з 12,73 м до 9 м (61 шт.); на найнижчій тарасі з 10,7 м до 8,7 м (39 шт.). Сумарна несуча спроможність такого пального поля за МГЕ складає 51041 кН при осіданні $S = 1$ см. При такій несучій спроможності пального поля прогнозоване загальне осідання будівлі складає 2,21 см.

В II-му варіанті пального поля було вирішено ще зменшити довжину паль: на найвищій терасі 12 м (24 шт.); на середній терасі до 8,2 м (61 шт.); на найнижчій тарасі до 7,9 м (39 шт.).

Сумарна несуча спроможність такого пального поля за МГЕ складає 48961 кН при осіданні $S = 1$ см. При такій несучій спроможності пального поля прогнозоване загальне осідання будівлі складає 2,30 см.

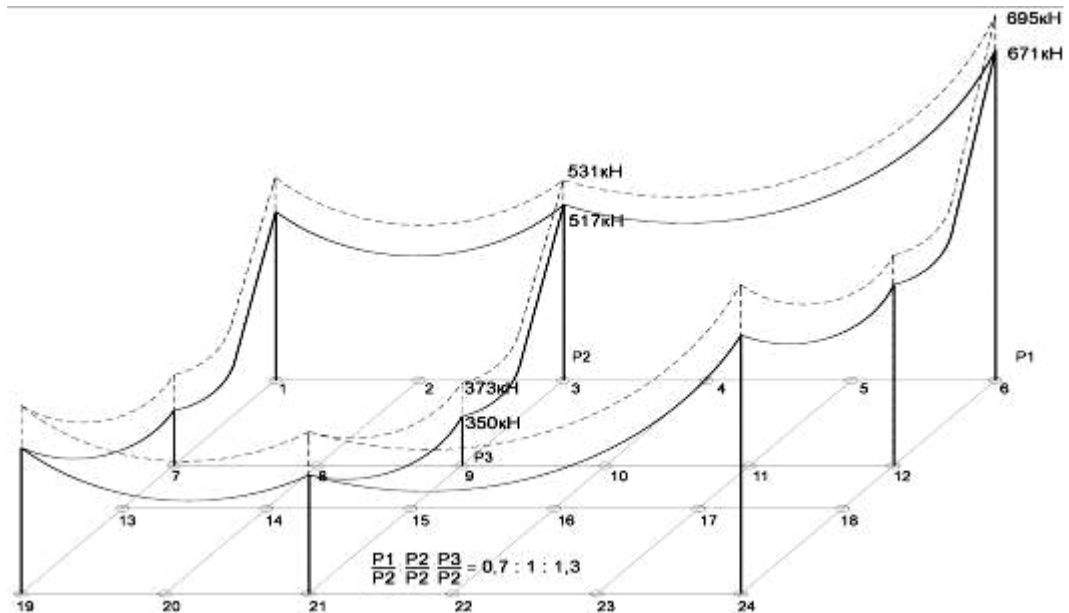
В III-му варіанті пального поля з огляду на те, що відстань між деякими палями в поперечному напрямку близько $3d$ і взаємовплив між ними в цьому випадку дуже значний (що знижує їх несучу здатність), було вирішено додатково зменшити довжину деяких найбільш затиснутих в пальному полі паль: на найвищій терасі до 8 м (6 шт. з 24-ох); на середній терасі до 6 м (10 шт. з 61-ї); на найнижчій терасі до 5 м (12 шт. з 39-ти). Сумарна несуча спроможність такого пального поля за МГЕ склала 49102 кН при осіданні $S = 1$ см. З результату видно, що загальна несуча спроможність майже не змінилась від попереднього результату. Це пояснюється тим, що зменшення довжини деяких найбільш затиснених паль сприяло більшій реалізації опору по боковій поверхні сусідніх паль, що підвищило їх несучу здатність. При такому варіанті пального поля прогнозоване загальне осідання будівлі складає також близько 2,30 см.

Результати II-го та III-го варіантів розрахунку продемонстровано на фрагменті пального поля (найвища тераса) з 24-х шт. паль (рис. 4), де суцільною лінією позначено графік несучих спроможностей паль II-го варіанта розрахунку, а пунктир – III-й варіант розрахунку (палі з № 13 по № 18 вкорочено до 8 м). Результати всіх трьох варіантів розрахунків показано в табл.1.

Таблиця 1

Результати розрахунків несучої спроможності пального поля будівлі

Варіант розрахунку	Розташування паль по вертикалі	Довжини паль L, м	Кільк. паль	Модуль деформації E, МПа	Коеф. Пуассона ν	Сумарна несуча спром. пального поля (при $S = 1$ см) F, кН
I	Палі в різних рівнях	12,8; 9,0; 8,7	124	22100	0,337	51041
II	Палі в різних рівнях	12,0; 8,2; 7,9	124	22100	0,337	48961
III	Палі в різних рівнях (довжина деяких додатково зменшена)	12,0 (8,0); 8,2 (6,0); 7,9 (5,0)	124	22100	0,337	49102



- результати несучих спроможностей паль фрагменту поля, що складається із 24-х паль $\varnothing 820$ мм та $L = 12$ м (II-й варіант пального поля);
- - - результати несучих спроможностей паль фрагменту поля, що складається із 18-ти паль $\varnothing 820$ мм та $L = 12$ м (з № 1 по № 12, з № 19 по № 24) та 6-ти паль $\varnothing 820$ мм при $L = 8$ м (з № 13 по № 18) (III-й варіант пального поля);

Рис. 4. Графіки несучих спроможностей паль фрагмента пального поля, що складається із 24-х паль $\varnothing 820$ мм

Таким чином, зменшення довжини деяких найбільш затиснених паль з 12 м до 8 м (з № 13 по № 18) сприяло більшій реалізації опору по боковій поверхні сусідніх паль (графік пунктиром, рис. 4), що підвищило їх несучу здатність. При цьому сумарна несуча спроможність даного фрагменту пального поля (найвища тераса) майже не змінилась і становить 10360 кН ($S = 1$ см) при II-му варіанті пального поля та 10349 кН ($S = 1$ см) при III-му варіанті пального поля.

Висновки

- Використовуючи нову методику та програму розрахунку за МГЕ виявлено наявність суттєвого перерозподілу зусиль в пальному полі будівлі, за яким кутова паля витримує навантаження майже вдвічі більше ніж центральна, що також відповідає нормам МГСН 2.07-97 [2].
- Найбільш оптимальним є III-й варіант пального поля, за яким його влаштування є найменш матеріалоємним і при цьому дана фундаментна конструкція забезпечує допустиме значення загального осідання будівлі. Зменшення довжини найбільш затиснених паль дало можливість більшої реалізації сил опору по боковій поверхні сусідніх паль, що підвищило їх несучу здатність.

Список літератури

1. Моргун А. С. Комп'ютерні технології розрахунку фундаментних конструкцій на основі методу граничних елементів: монографія / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніцевич. – Вінниця, : ВНТУ – 2009. – 167 с.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения МГСН 2.07-97 [Действителен с 1998.10.02]. – М. : Стройиздат, 1997. – 79 с.
3. Моргун А. С. Моделювання ефекту взаємодії системи "будівля-фундамент-основа" за числовим методом граничних елементів: монографія / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніцевич. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 134 с.

Ніцевич Андрій Віталійович – аспірант каф. ПЦБ Вінницького національного технічного університету