

УДК 519.642:624.044:624.15

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛЬОВОГО ПОЛЯ ВИСОТНОЇ 9-ТИ ПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ
ЗА ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

А. С. Моргун, В. О. Попов, О. В. Бень, Е. Шульц

**ОПТИМИЗАЦИЯ СВАЙНОГО ПОЛЯ ВЫСОТНОГО 9 ЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ
ЗА ЧИСЛОВЫМ МЕТОДОМ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

А. С. Моргун, В. А. Попов, А. В. Бень, Э. Шульц

**FIELD OPTIMIZATION OF HIGH RISE FAWN 9-STOREY BUILDING
THE NUMERICAL BOUNDARY ELEMENT METHOD**

A. Morhun, V. Popov, A. Ben, E. Schultz

У статті викладено сучасна методика визначення несучої здатності фундаментної конструкції пальового поля будівлі з використанням чисельного методу граничних елементів і рішень Р. Міндліна для переміщень в півпросторі. У розрахунках враховано взаємовплив активних зон сусідніх паль.

В роботі проведено оптимізацію пальового поля будівлі.

Проведено порівняння двох можливих варіантів проектних рішень, виконаних з урахуванням вимог щодо економічних витрат основних будівельних матеріалів.

Ключові слова: *пальове поле, метод граничних елементів, несуча спроможність, напружено-деформаційний стан.*

В статье изложено современная методика определения несущей способности фундаментной конструкции свайного поля здания с использованием численного метода граничных элементов и решений Р. Миндлена для перемещений в полупространстве. В расчетах учтено взаимовлияние активных зон соседних свай.

В работе проведена оптимизация свайного поля сооружения.

Проведено сравнение двух возможных вариантов проектных решений, выполненных с учетом требований относительно экономических расходов основных строительных материалов.

Ключевые слова: *свайное поле, метод граничных элементов, несущая способность, напряженно-деформационный состояние.*

The article describes the modern method of determining the bearing capacity of the pile foundation structure of the field of the building using a numerical method and boundary element solutions R. Mindl to move in the half. The calculations take into account the mutual influence of the active zones adjacent piles.

In this work the optimization of the pile field building.

A comparison between the two options of design decisions made to meet the requirements on the economic costs of basic building materials.

Keywords: *fawn field, boundary element method, bearing capacity, stress-deformation state.*

Вступ

Світовий та вітчизняний досвід проектування і будівництва свідчить про те, що традиційних інженерних методів розрахунку пальових фундаментів явно недостатньо. Розвиток нових розрахункових моделей визначення НДС та несучої спроможності пальового поля з використанням ЕОМ та сучасних числових методів стає одним найбільш актуальним економічним прийомів прикладного дослідження завдань фундаментобудування, оскільки економить час,

витрати на проведення коштовних натурних експериментів.

Сучасне багатоповерхове монолітне будівництво потребує створення єдиної методологічної платформи вивчення процесу деформування ґрунту за допомогою ЕОМ та сучасних числових методів (МСЕ, МҒЕ). Однією з актуальних задач є врахування сумарної роботи групи паль в складі пального фундаменту, тобто розвиток нових математичних моделей прогнозування НДС пального поля будівлі з урахуванням перерозподілу зусиль між сусідніми палями, вибору оптимальної відстані між ними, їх довжини для конкретних ґрунтів. Саме врахування ефекту взаємодії паль пального поля забезпечує економічне і надійне проектне рішення. І ця тема є актуальною в сучасному фундаментобудуванні, вона має важливе практичне та наукове значення.

Плитно-пальові фундаменти є найбільш перспективними для сучасного висотного будівництва, оскільки забезпечують допустимі значення осідань і малу вірогідність появи крену. Та робота групи паль різко відрізняється від роботи одиночної палі, це потребує узагальнення існуючих і напрацювання нових методик, які б відображали дійсну картину перерозподілу зусиль в пальному полі з урахуванням взаємовпливу активних зон сусідніх паль.

В роботі проведено оптимізацію пального поля будівлі на рис. 1 із 728 паль С8.35.

Задача розв'язується на основі розгляду основного інтегрального рівняння методів граничних елементів (МҒЕ):

$$C_{ij}(\xi)u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x)u_j(x) d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x)p_j(x) d\Gamma(x), \quad (1)$$

де u_{ij}^* , p_{ij}^* – базисні функції, що відповідають полю вагових функцій, які задовольняють рівнянню рівноваги Лапласа в області Ω . Як вагові функції в роботі прийнято фундаментальні розв'язки Р. Міндліна для переміщень та напружень в півплощині.

Матричний вигляд основного інтегрального рівняння МҒЕ (1):

$$F = |K| \bar{Y} \quad (2)$$

де $|K|$ – глобальна матриця коефіцієнтів впливу, що враховує взаємодію паль і основи (з фізичної точки зору коефіцієнти матриці впливу – це переміщення точок бокової поверхні і вістря палі з урахуванням взаємовпливу всіх паль активної зони від дії $P=1$);

\bar{Y} – вектор-стовпець невідомих (дотичні, радіальні та нормальні напруження на граничних елементах бокової поверхні і вістря палі);

F – заданий вектор переміщень.

Для числової реалізації рівняння (1) записується в дискретній формі для кожного граничного вузла та обраховуються значення інтегралів за формулами подвійного числового інтегрування Гауса. В результаті отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) з N невідомими напруженнями в вузлах по границі палі. Корені СЛАР дають шуканий вектор напружень по боковій поверхні та під вістря палі.

Визначення напружень на контакті палі та основи проводилось з урахуванням глибини прикладання навантаження і передачі навантаження на ґрунт по боковій поверхні і вістрі палі. Це ґрунтувалось на аналітичних залежностях Р. Міндліна для визначення переміщень та напружень від дії одиничних сил в півпросторі. При формуванні глобальної матриці коефіцієнтів впливу МҒЕ здійснюється обхід граничних елементів бокових поверхонь та вістря всіх паль фундаменту, що входять в активну зону. При цьому коефіцієнти матриці, які відносяться до i -го елемента палі, що розглядається, формуються шляхом додавання розв'язків Р. Міндліна, коли «джерело» ξ переміщається по всіх j -тих елементах всіх паль активної зони.

Для сприйняття вертикальних та горизонтальних навантажень від дев'яти поверхової будівлі на (рис. 1) передбачено як фундаментна конструкція палове поле (рис. 3) та інженерно-геологічні умови будівельного майданчика (рис. 2). Проведено порівняння двох можливих варіантів проектних рішень, виконаних з урахуванням вимог щодо економічних витрат основних будівельних матеріалів, забезпечуючи найбільш повне використання міцнісних та деформованих характеристик ґрунтів та фізико-механічних характеристик міцності матеріалів фундаменту.

Відстань між осями паль вибрано з міркувань конструктивної доцільності. Прийняте рішення обґрунтовано розрахунком за першою і другою групами граничних станів.

Вибір довжини палі виконано в залежності від ґрунтових умов будівельного майданчика при знятті верхнього шару ґрунту (рослинного) товщиною 1,5 м. Нижній кінець палі заглиблено в міцний ґрунт (пісок середньої крупності, середньої щільності, $E=40\text{МПа}$, $I_B<0,1$) більше ніж на 0,5 м (згідно з ДБН В2.1.-10-2009). Палі в плані споруди розташовуються (ґрунтуються) під несучими конструкціями.



Рис. 1. Будівля, що проектується

В першому наближенні кількість паль визначалась в залежності від величини навантаження від споруди, яке передають несучі конструкції, по відношенню до визначеного навантаження на одиночну палю за властивостями ґрунтової основи.

Кількість паль призначалась з умови максимального використання міцності їх матеріалу при розрахованому навантаженні. Фундамент на конструкцію висотної будівлі проектувався згідно з нормативними документами ДБН В 2.1-10-2009 та сучасними досягненнями з використанням числового методу граничних елементів та дилатансійної моделі пористого ґрунтового середовища.

Основа споруди висотної будівлі проектувалась з урахуванням:

- а) – інженерно-геодезичних,
– інженерно-геологічних,
– інженерно-гідрометеорологічних вишукувань;
- б) – даних навантажень, діючих на фундамент, умов його експлуатації;
- в) – техніко-економічного порівняння можливих варіантів проектних рішень для прийняття варіанта, що забезпечує найбільш повне використання міцнісних і деформаційних характеристик ґрунтів і фізико механічних характеристик матеріалів фундаменту.

Фундаментну конструкцію споруди прийнято на основі результатів техніко-економічних порівнянь.

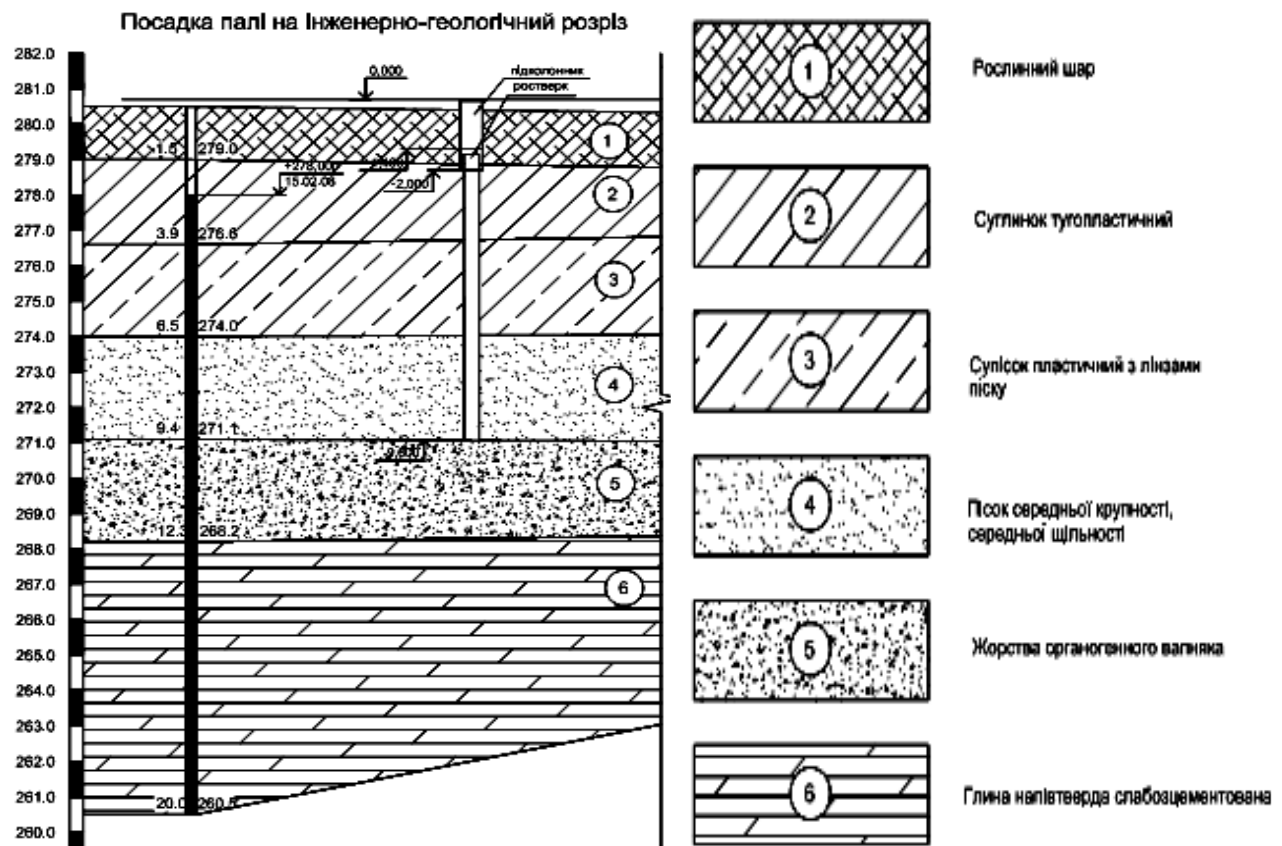
Для моделювання процесу деформування пального поля будівлі необхідні дані інженерно-геологічних вишукувань будівельного майданчика. Фізико-механічні характеристики ґрунтів, основи наведені в описанні пошукових результатів інженерно-геологічних даних (рис. 2) та включають дані, необхідні для вибору типу основи і фундаментів, визначення глибини закладання і розмірів фундаменту з урахуванням прогнозу можливих змін в процесі будівництва і експлуатації.

Значення ґрунтових умов залежить від об'єму і якості геодезичних вишукувань і є визначальними в прогнозованому проектуванні.

В першому варіанті проекту запропоновано палі 350×350 мм. довжиною 8 метрів в кількості 728 штук. Проектом передбачено зрізування родючого прошарку ґрунту (1,5 м) для наступного використання з метою рекультивації порушених сільськогосподарських угідь або малопродуктивних.

Проектування основ проведено за двома групами граничних станів: за першою – за несучою спроможністю та другою – за деформаціями.

Як відомо, метою розрахунку основ за граничним станом є вибір технічного рішення фундаментів, який забезпечує неможливість досягнення основою граничних станів (втрата стійкості форми і положення крихке, в'язке руйнування, резонансні коливання, значні пластичні деформації, експлуатаційна придатність, недопустимі переміщення, тріщини, коливання).



Розрахункова схема системи «фундамент-основа» вибиралась з урахуванням найбільш суттєвих факторів, що визначали НДС системи, (характера ґрунтових напластунків, властивостей ґрунтів основи), враховано фізичну нелінійність, пластичність дисперсних ґрунтів та їх дилатантність.

Розрахункова схема є сукупністю спрощувальних пропозицій відносно геометричної схеми конструкції, властивостей матеріалів і ґрунтів, характеру взаємодії конструкції з основою і схематизацією можливих граничних станів.

Величина навантаження, яке сприймає таке палеве поле при осіданні $S=1\text{см}$ згідно з даних розрахунків рівне 97036 кН. Видалення паль з мінімальною величиною сприймаючого навантаження зменшило кількість паль до 588 штук (рис. 4).

Зменшення кількості паль палевого поля на 140 штук дало можливість чинити опір палям по бокових поверхнях.

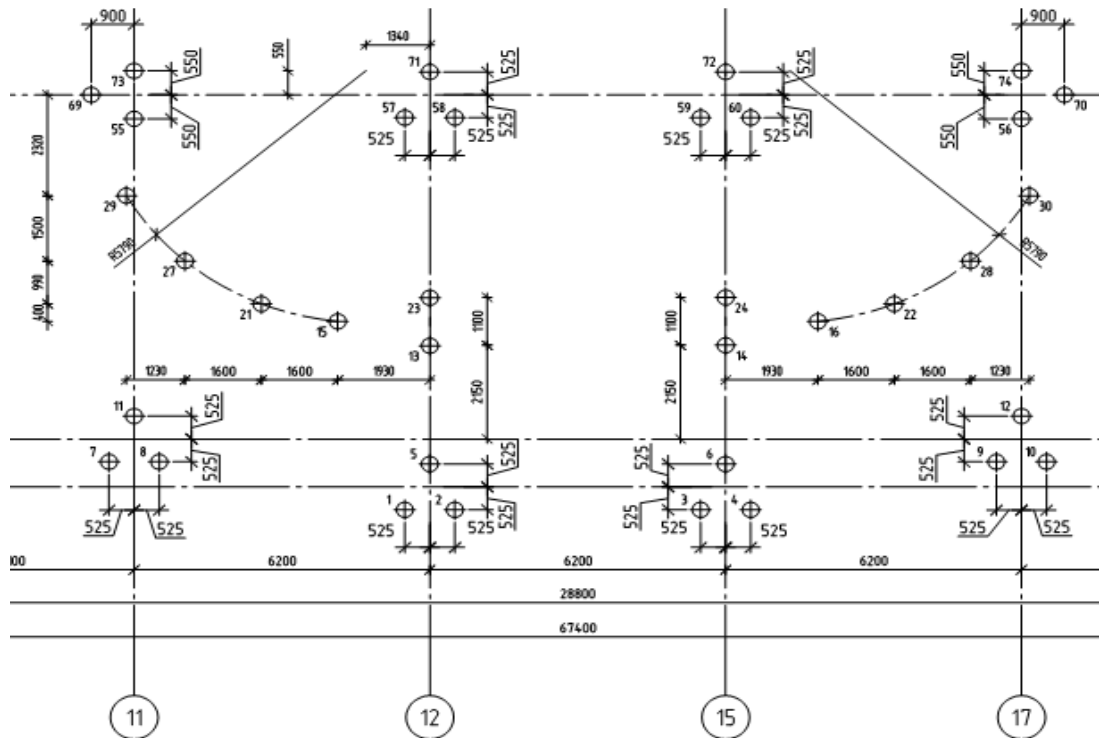


Рис. 3. Фрагмент плану палевого поля будівлі із 728 палей

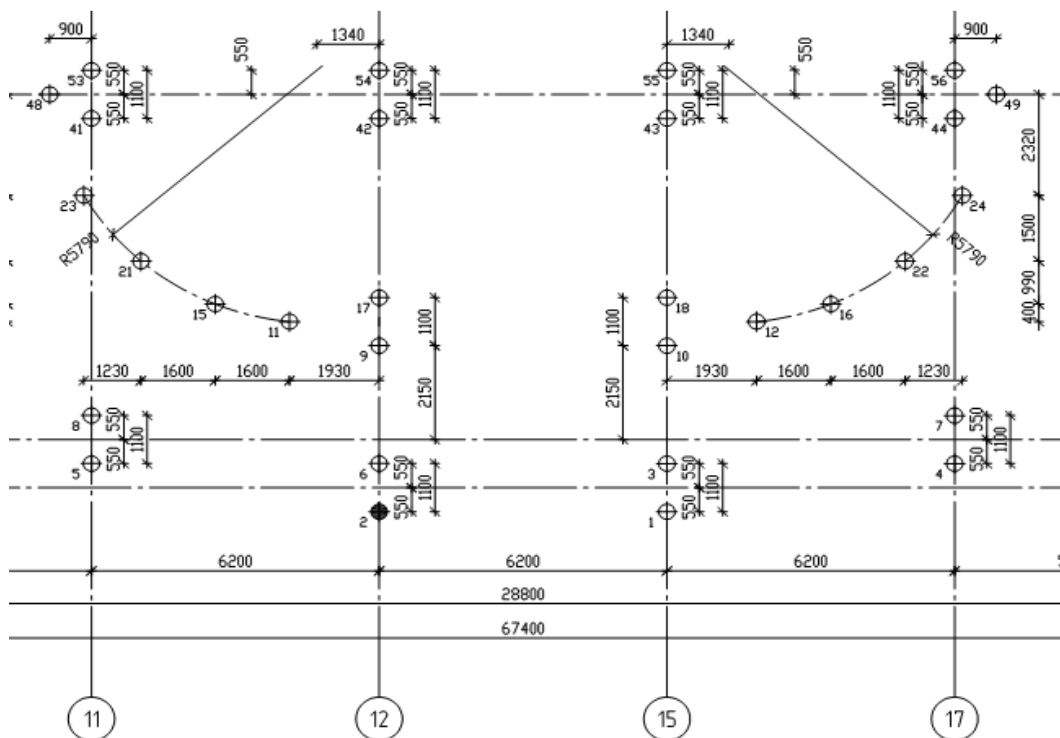


Рис. 4. Фрагмент плану палевого поля будівлі із 588 палей

Сумарна величина несучої спроможності такого оптимального палевого поля при $S=1$ см. склала 98128 кН.

Результати числових досліджень перерозподілу зусиль знаходяться відповідно до нормативних документів і експериментальних досліджень А. О. Бартоломея: перерозподіл навантаження майже в двічі більше, ніж центральна. Співвідношення між навантаженням на кутову-крайню-центральну палі склало відповідно 1,6-1-0,7.

Висновки

- Таким чином, збільшений крок паль не понизив загальну несучу спроможність пального поля. Це пояснюється тим, що при кроці 4-6 d палі краще реалізують свій опір по боковій поверхні, чим підвищують несучу спроможність, а це в свою чергу дає можливість отримання економічного ефекту.
- Розрахунок згідно з напрацьованою методикою за МГЕ дозволяє відслідкувати перерозподіл зусиль в пальному полі, доцільніше розташувати палі та більш ефективно використовувати резерви їх несучої спроможності.

Використана література

1. Заценко М. Л. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти / М. Л. Заценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев, В. Б. Швець, С. В. Біда – Полтава, 2004. – 562 с.
2. Моргун А. С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів. Вінниця, ВНТУ. – 2013. – 108 с.

Моргун А. С. – д.т.н. професор, зав. кафедри Промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету

Попов В. О. – к.т.н. доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету

Бень О. В. – студент Вінницького національного технічного університету

Шульц Е. – студент Вінницького національного технічного університету

Моргун А. С. – д.т.н. професор, зав. кафедри Промышленного и гражданского строительства Винницкого национального технического университета

Попов В. А. – к.т.н. доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Винницкого национального технического университета

Бень А. В. – студент Винницкого национального технического университета

Шульц Э. – студент Винницкого национального технического университета

Morhun A. – Dr. Professor, Head of Department of Industrial and Civil Engineering Vinnytsia National Technical University

Popov, V. – Ph.D. assistant professor of Department of Industrial and Civil Engineering Vinnytsia National Technical University

Ben O. – Student Vinnytsia National Technical University

Schultz E. – Student Vinnytsia National Technical University