

БУДІВНИЦТВО

УДК 681.3:624.044:624.15

А. С. Моргун, д. т. н., проф.;

А. В. Ніцевич,

І. А. Моргун

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ ПАЛЬОВОГО ПОЛЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ ЗІ ЗБІЛЬШЕНИМ КРОКОМ ПАЛЬ

Розглянуто задачу взаємовпливу паль в пальовому полі висотних будівель використовуючи числовий метод граничних елементів. Збільшення кроку паль в порівнянні з рекомендованим за чинними ДБН дає можливість отримати значний економічний ефект без втрати несучої спроможності фундаментної конструкції.

Вступ

Збільшення кількості поверхів сучасних будівель призводить до того, що в межах плями забудови напруження в основах починають перевищувати 600...1000 кПа. Доцільним варіантом фундаменту в такому випадку може бути поле паль, перекрите плитним ростверком. Якщо під плитним ростверком ґрунти мають задовільні будівельні властивості, то виникає питання раціонального використання їх опору. Конструкції висотних будівель, як правило, мають високу жорсткість, тому ґрунт під фундаментами таких будівель працює як основа жорсткого штампа. При розподіленні паль під жорстким пальовим ростверком, в першу чергу, потрібно в'ясувати необхідну кількість паль. Вона залежить від ваги споруди, що передається через фундамент на палі, допустимого навантаження на палю, від мінімальної відстані між осями паль з умови можливості заглиблення палі, від довжини паль та ще багатьох факторів.

Мінімально допустима відстань між осями паль залежить від ступеня щільності ґрунту і регламентується чинними будівельними нормами, зазвичай ця мінімальна відстань складає $3d-4d$, d – діагональ перерізу палі. Та лише комплексна оцінка результатів аналізу всіх місцевих умов може вказати на доцільність прийняття рішень в такому актуальному питанні.

Постановка задачі. Визначальні співвідношення

Взаємне перекриття активних зон сусідніх паль в пальовому полі будівлі впливає на несучу спроможність паль поля. Для середніх паль цей взаємовплив особливо значний, затиснений між палями ґрунт працює як єдине ціле з палями, не даючи можливості середнім палям реалізувати свій боковий опір і їх несуча спроможність, за даними будівельних норм [1], в два рази менша, ніж у кутових паль. Це підтверджується експериментами в роботі А. А. Бартоломія [2]. В статті з використанням методу граничних елементів (МГЕ) проведено дослідження несучої здатності паль фрагменту пальового поля висотної будівлі. Висячі залізобетонні палі С-30-10 вважались як абсолютно жорсткі. Середньозважені фізико-механічні характеристики основи (суглинок): модуль деформації

$E = 15470$ кПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,394$, коефіцієнт пористості $e = 0,65$, зчеплення $c = 28$ кПа, кут внутрішнього тертя $\varphi = 27^\circ$. Результати розрахунку трьох варіантів з різною кількістю паль: 26; 16; 10 штук показані на рис. 1а, 1б, 1в. Зменшення кількості паль, у порівнянні з нормативною, тобто збільшення відстані між ними, проведено з метою, щоб частина навантаження від споруди сприймалась ґрунтом, частина — палями. Адже основне призначення паль — збільшити

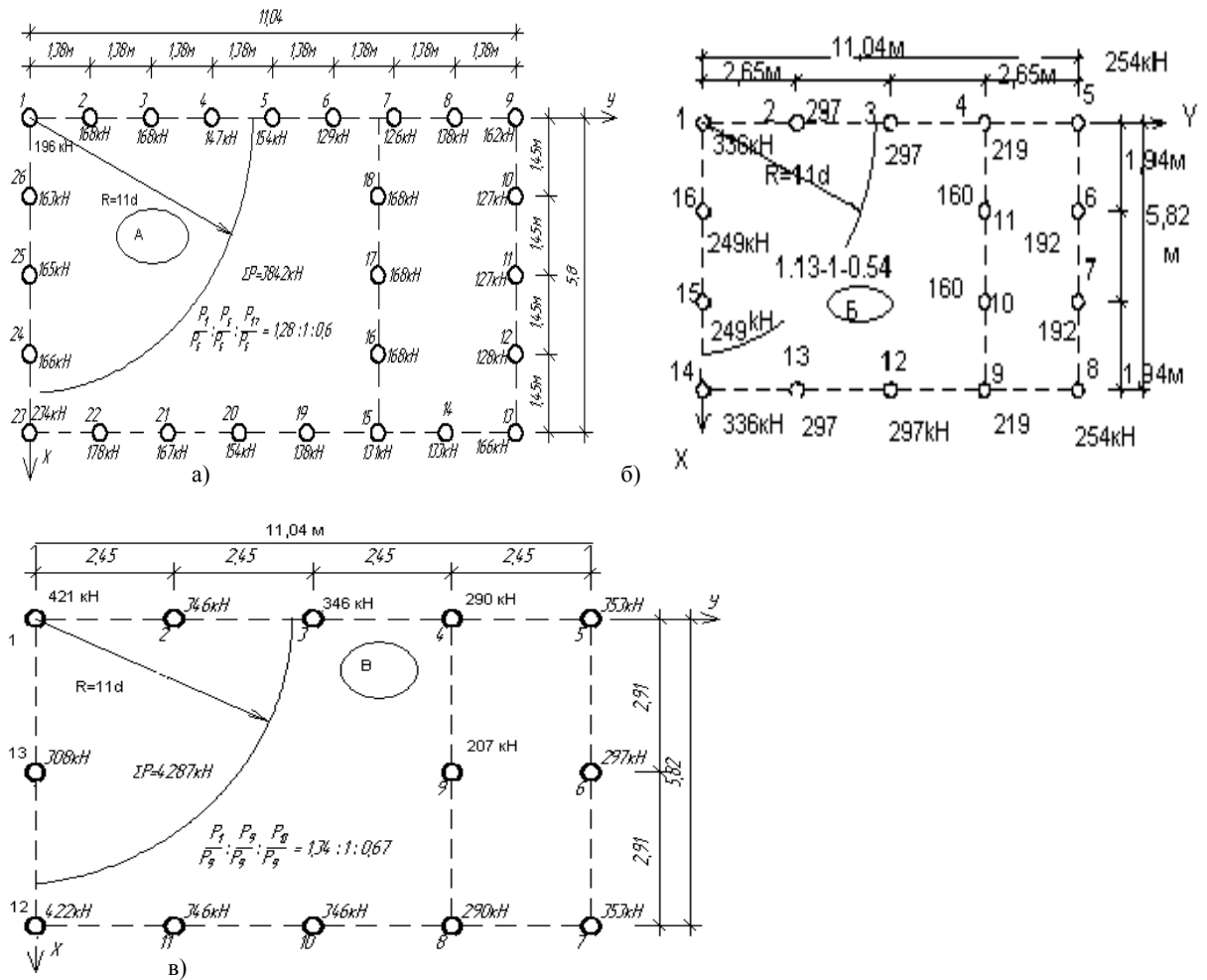


Рис. 1. Перерозподіл зусиль між палями пальового поля будівлі, якщо $S = 1$ см з кількістю паль: а) – 26 штук; б) – 16 штук; в) – 13 штук

несучу спроможність ґрунту на тому рівні, де вона недостатня, компенсувати недостатню жорсткість основи.

Програма дослідження взаємовпливу активних зон сусідніх паль поля складена на алгоритмічній мові Delphi. За числовим методом граничних елементів отримано розв’язок фундаментального граничного інтегрального рівняння рівноваги, що встановлює зв’язок між зусиллями та переміщенням на границі досліджуваного об’єкта – палі. Це рівняння отримано П. Бенерджи, Р. Баттерфилдом [3] на основі методу зважених нев’язок.

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

де u_j — заданий вектор переміщень на границі (граничні умови типу Діріхле); p_j — шуканий вектор зусиль на границі; u_{ij}^* , p_{ij}^* — ядра граничного рівняння, матриці впливу Гріна, в даній задачі це фундаментальні сингулярні розв’язки Р. Міндліна для пружнього півпростору; Γ , ξ , x — відповідно границя, точка збурення, точка нагляду; C_{ij} — матриця, визначається з умов руху тіла як цілого.

В процесі числової реалізації (1) дискретизується лише поверхня стикання палі та ґрунту, оскільки розв’язок Р. Міндліна автоматично задовольняє граничним умовам рівності нулю напружень на вільній поверхні півпростору.

Основні етапи числового підходу в МГЕ:

1) дискретизація границі Γ — поверхні стикання палі і ґрунту низкою граничних лінійних елементів

тів. Дискретизація границі лінійними граничними елементами дає прийнятну для практики точність, не потребуючи значних зусиль з точки зору числової реалізації;

2) запис рівняння (1) для кожної вузлової точки ξ границі Γ . Інтеграли по кожному граничному елементу обчислювались за схемами числового інтегрування двовимірних квадратур Гауса;

3) в результаті виконання пункту 2 формується система лінійних алгебричних рівнянь (СЛАР). Її запис в матричній формі

$$AY = F, \tag{2}$$

де A – матриця впливу методу граничних елементів; F – заданий вектор переміщень на границі Γ ; Y – шуканий вектор зусиль на границі. Невідомий вектор зусиль на границі — Y визначається, розв’язуючи отриману СЛАР.

В ході моделювання роботи групи паль в пальовому полі першим постає питання визначення розмірів активної зони при взаємодії паль. Для з’ясування цього питання проведені числові дослідження за МГЕ несучої спроможності 26 паль пальового поля (рис. 1а) за таких умов:

- взаємодія паль одна на одну не спостерігається;
- радіуси зони взаємовпливу сусідніх паль закінчуються на відстані $2d$; $3d$ (згідно з чинними ДБНіП); $4d$; $5d$; $6d$; $7d$; $8d$; $9d$; $10d$; $11d$; $12d$; $13d$.

Результати числового моделювання подано на рис. 2. По горизонталі відкладено розміри досліджуваних активних зон, по вертикалі — P , кН — несуча спроможність кутової та середньої паль із варіанту рис. 1а. Графік показує, що з радіусом активної зони $\geq 11d$ несуча спроможність паль практично не залежить від її величини. Знайдена величина активної зони паль $11d$ відповідає визначений А. А. Бартоломієм [1] експериментально і саме вона була закладена в розрахунок.

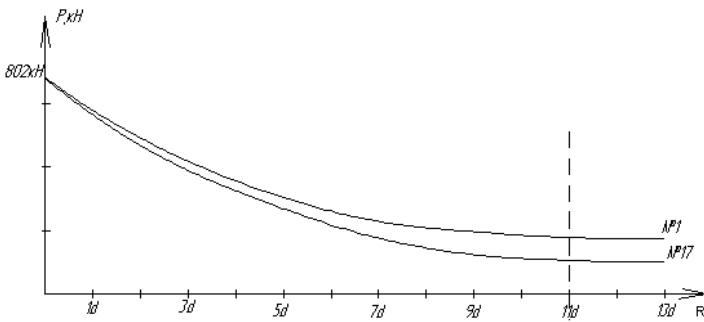


Рис. 2. Дослідження радіусу зони взаємовпливу сусідніх паль

При компонуванні матриці впливу A методу граничних елементів в дослідженні взаємовпливу сусідніх паль точка збурення ξ та точка нагляду B розташовувались на граничних елементах всіх паль, що входили в визначену активну зону $11d$ між осями сусідніх паль. Оскільки для центральних паль в активну зону входило найбільше паль, коефіцієнти матриці A для цих паль були найбільші. З точки зору будівельної механіки мат-

риця A — це матриця податливості і її коефіцієнти характеризують переміщення граничних вузлів палі під дією одиничних сил. З формули (2) випливає, що більшим значенням матриці A відповідатимуть менші напруження. Оскільки зусилля — це інтегровані величини напружень, а за зусиллями визначається несуча спроможність паль, то несуча спроможність центральних паль в такому випадку буде найменша. За викладеною методикою проведені числові дослідження трьох варіантів розташування паль в пальовому полі будівлі (рис. 1а, 1б, 1в). Якщо відстань між палями згідно з чинними будівельними нормами $3d...4d$ (рис. 1а), то несуча спроможність 26 паль С-30-10 складала 3842 кН.

Збільшення кроку паль до $4d...6d$ (рис. 1б) за даними числового моделювання за МГЕ дає можливість зменшити кількість паль пальового поля будівлі з 26 штук до 16 (на 38,5 %), а сумарна несуча спроможність цієї кількості паль (16 паль) складає 4008 кН, тобто, на 4,3 % більше, ніж із нормативним кроком паль.

Збільшення відстані між палями в межах $6d...7d$ (рис. 1в) дає можливість зменшити кількість паль С-30-10 вдвоє, отримавши значний економічний ефект, а сумарна несуча спроможність такого фрагмента пальового поля при цьому складатиме 4287 кН, тобто на 11,6 % буде більша, ніж при нормативному розташуванні паль.

У всіх трьох варіантах моделювання несуча спроможність середніх паль вдвічі менша несучої спроможності кутових паль, що відповідає даним експериментальних досліджень А. А. Бартоломія [1] та даним числових досліджень за методом скінченних елементів І. П. Бойка [4].

Висновки

Використання паль С-30-10 розташованих з кроком, рівним $6d...7d$, які розвантажують ґрунтову основу, дає значний економічний ефект. Так за рахунок зменшення на 50 % кількості паль (з 26 штук до 13 штук) і збільшення навантаження на кожну палю сумарна несуча спроможність фрагменту пального поля збільшилась на 11,6 % (з 3842 кН при 26 палях до 4287 кН при 13 палях).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. МГСН 2.07—01 «Основания, фундаменты и подземные сооружения»
2. Бартоломей А. А., Омельчак И. М., Юшков Б. С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994, 381 с.
3. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 494 с.
4. Бойко И. П. Напряженно-деформированное состояние упругопластического, дилатирующего основания свайных фундаментов // Основания и фундаменты. — К.: Будівельник, 1986. Вып. 19. — С. 7—9.
5. Аршба Э. Т. Применение фундаментов из свайных полей с увеличенным шагом свай // Строительство и архитектура. Серия 8. Строительные конструкции. Вып. 3. — 1986. — С. 18—22.

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 01.03.07
Рекомендована до друку 23.03.07

Моргун Алла Серафимівна — завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва
Моргун Иван Анатолієвич — студент Інституту інформаційних технологій і комп'ютерної інженерії;
Ніцевич Андрій Віталійович — студент Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.
Вінницький національний технічний університет