

УДК 519.642:624.044:624.15

А. С. Моргун, д. т. н., проф.; А. В. Ніцевич**ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ ПЛИТНО-ПАЛЬОВОГО ПОЛЯ
ВИСОТНОЇ БУДІВЛІ ЗА ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ**

У роботі за числовим методом граничних елементів змодельовано осідання 16-типоверхового монолітно-цегляного житлового будинку висотою 54 м і проведено обробку результатів досліджень

Ключові слова: метод граничних елементів.

Вступ

Одна з актуальних проблем сучасного фундаментопроекування – вибір надійних основ і фундаментів висотних будівель, які одночасно зростають вгору та вниз. Проекування висотних будинків і їх фундаментів у багатьох випадках виходить за межі нормативних документів, а їх спорудження має супроводжуватися моніторингом як основ, так і надземних споруд. Вимоги до величин граничних деформацій основ таких будівель (особливо до їх нерівностей і кренів висотних будівель) залишаються вкрай жорсткими. Світовий та вітчизняний досвід проєкування висотних будівель свідчить, що інженерних (традиційних) методів розрахунку основ і фундаментів явно недостатньо. Потрібні наукові підходи, числові просторові нелінійні розрахунки всієї системи «будівля – фундамент – основа».

Плитно-пальові фундаменти – найбільш перспективний та найбільш економний вид фундаментів за всіма параметрами, що широко застосовуються під час спорудження висотних будівель, забезпечуючи незначне осідання та малу вірогідність появи крену споруди. Та в теорії пальового поля є невизначеності, що занижують можливість достовірно їх прогнозувати. Однією з цих невизначеностей є врахування взаємодії паль.

Постановка завдання, визначальні співвідношення

Концепція плитно-пальового фундаменту передбачає передачу частини навантаження від будівлі по підшві плитного ростверку, а частину – через палі. Важливим питанням є частка навантаження, яку отримує плита ростверку. Конструкція висотної будівлі має досить високу жорсткість, тому ґрунт під фундаментом такої будівлі працює, як в основі жорсткого штамп.

У роботі за числовим методом граничних елементів (МГЕ) змодельоване осідання 16-типоверхового монолітно-цегляного житлового будинку в висотою 54 м з підвалом м. Санкт-Петербург [1] (рис. 1).

У плані будівля має форму трилисника з площею підлоги підвалу 870 м^2 , вага будівлі – 222720 кН.

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). 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.

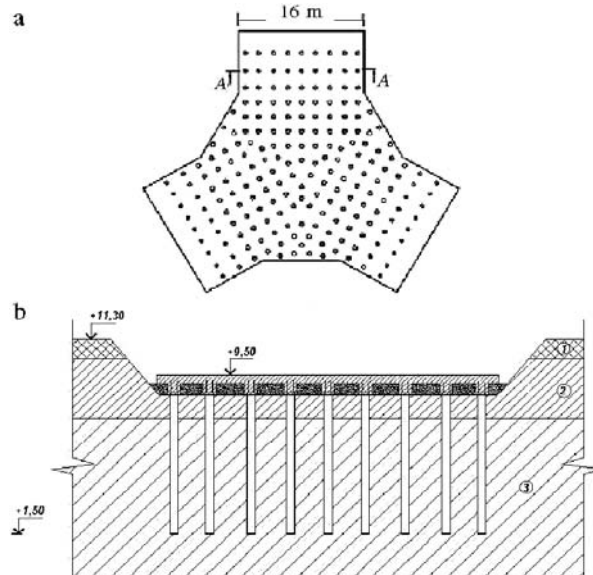


Рис. 1. План плитного ростверку й пального поля (а) та розріз А-А (б)

Одним із критеріїв нелінійності є зсув по заданій поверхні, що відповідає зсуву ґрунту по боковій поверхні при навантаженні на палю. 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 і тензора напружень та тензора пластичних деформацій.

Рішення задач теорії пластичної течії потребують знань традиційних фізико-механічних параметрів ґрунту, що дозволяє використовувати метод під час масового проектування.

Геологічну ситуацію основи описують такі середньозважені фізико-механічні характеристики ґрунту.

$$E=18,43 \text{ МПа}; \nu=0,39; \rho=1,8852 \text{ г/см}^3; \rho_{\min}=1,56 \text{ г/см}^3; \rho_{\max}=2,67 \text{ г/см}^3; c=39,33 \text{ кПа};$$

$\varphi = 19,15^\circ$.

Матеріалу паль задано достатньо високі значення згинальної і нормальної жорсткості, що дозволяє знехтувати деформацією самих паль у розрахунку.

У спорудженій будівлі палі перерізали верхні слабкі ґрунти й передавали навантаження на глибоколежачі шари ґрунтів (тверда глина, $E=23$ МПа, $\rho=1,9$ г/см³), що характеризуються високими будівельними властивостями. Оскільки під плитою на глибині 9 м розташовані ґрунти з відносно гарними будівельними властивостями ($E=10$ МПа), то постало питання про використання їх опору.

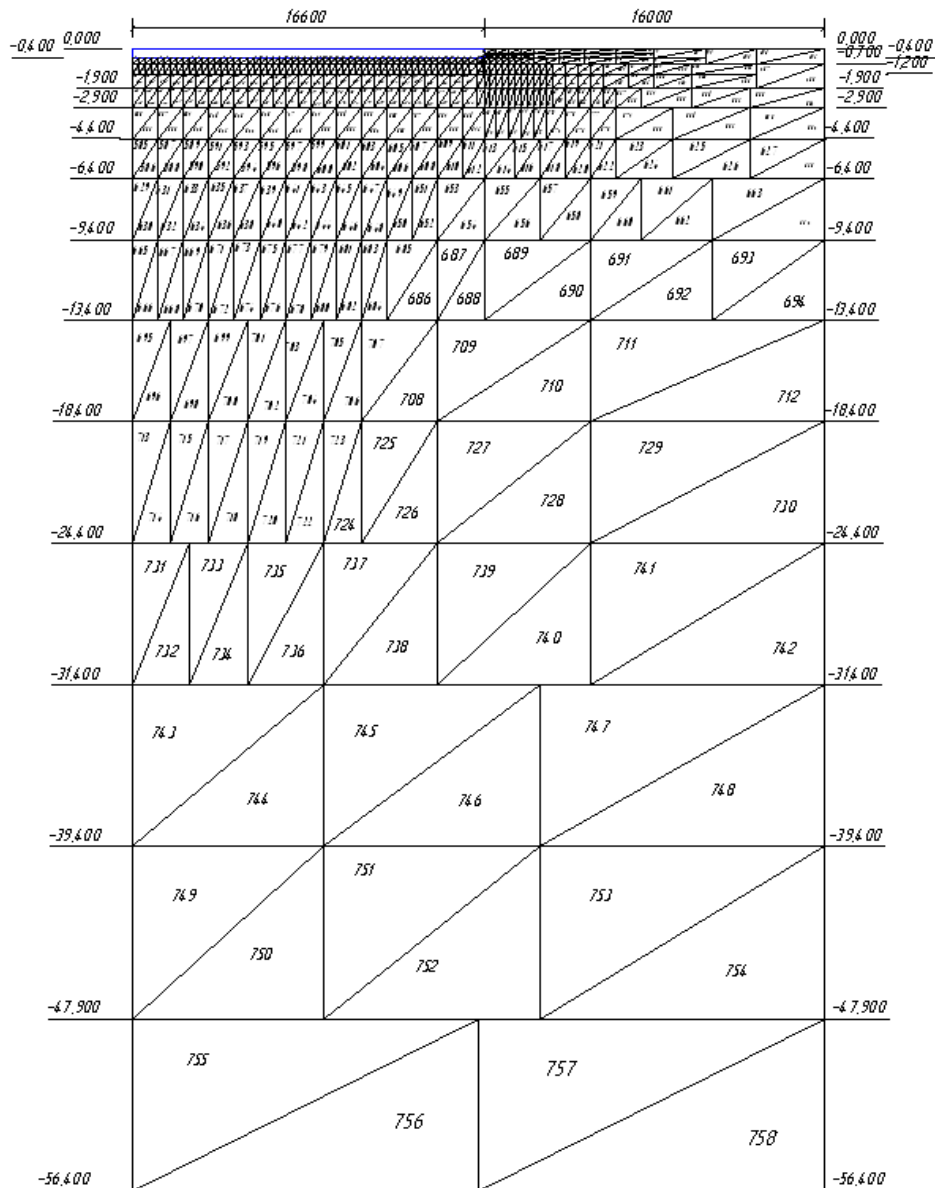


Рис. 2. Дискретизація ґрунтового масиву під підшовою та по боковій поверхні фундаментної плити

З метою визначення частки навантаження, яке передається на фундаментну плиту і безпосередньо на пальове поле, проведено розрахунки за числовим МГЕ для цих геологічних умов будівельного майданчика.

Схема дискретизації ґрунтового масиву під окремо працюючою фундаментною плитою наведено на рис. 2.

За даними числових розрахунків, максимальне навантаження, яке може витримати плита товщиною 40 см на даних ґрунтах, приблизно дорівнює 37.000 кН (рис. 3). Ця величина в процентному відношенні до ваги будівлі складає 16,6% і відповідає нормам по розрахунку плитно-пальових фундаментів СП 50-102-2003, які рекомендують передавати на плитний ростверк плитно-пального фундаменту $\approx 15\%$ навантаження.

У числовому розрахунку ширину активної зони між палями прийнято 11 d [2], що відповідає експериментальним дослідженням О. А. Бартоломея, згідно з якими при відстані між палями 10 d взаємовплив паль не спостерігається [3].

Результати розрахунку пальового поля за МГЕ (рис. 4) показують, що в інтервалі осідань до 16 см залежність між навантаженням і осіданням практично лінійна, що свідчить про відсутність зон пластичних деформацій та зсувів ґрунту основи. Останні в пальових полях з'являються при $S > 14 - 30$ см [3]. Із результатів дослідження на рис. 4 видно, що пальове поле працює в лінійній стадії процесу ущільнення ґрунту як єдине ціле із затисненим між палями ґрунтом, оскільки відстань між палями < 10 d (ця відстань складає від 1500 до 1850 мм). При цьому утримання ґрунту здійснюється лише в межах зони впливу паль.

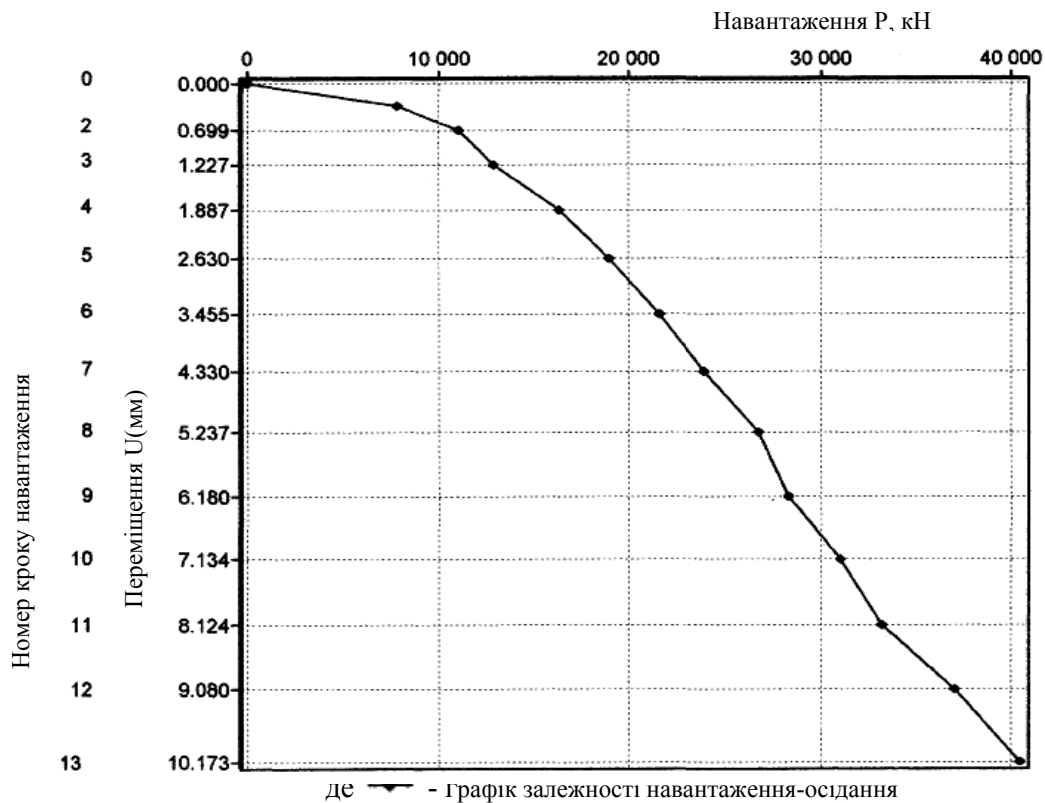


Рис. 3. Результати розрахунку фундаментної плити за МГЕ

Дані перерозподілу зусиль між палями пальового поля для конкретних ґрунтових умов наведено на рис. 5. Результати числових досліджень перерозподілу зусиль знаходяться у відповідності з нормативними документами й експериментальними дослідженнями

О. А. Бартоломея: кутова палія витримує навантаження майже вдвічі більше ніж центральна. Співвідношення між навантаженням на крайню-кутову-центральну палі склало 1-1,42-0,7.

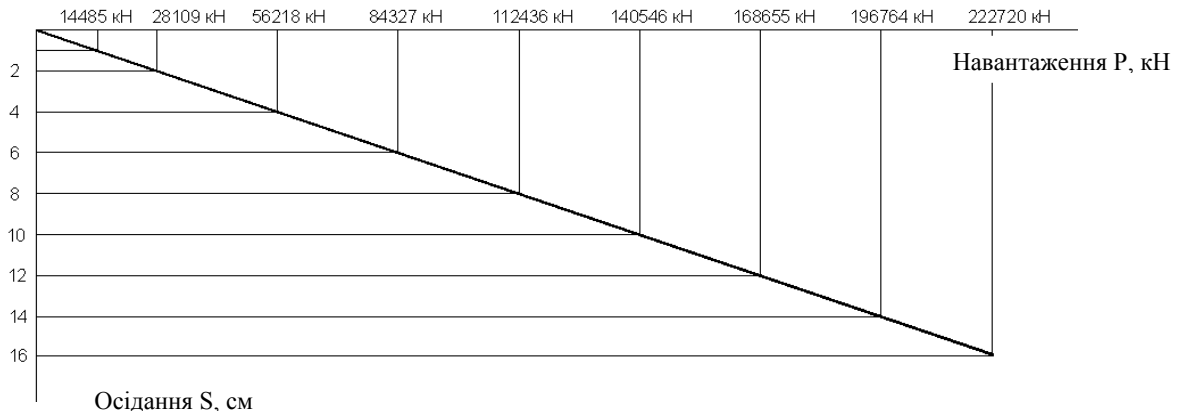


Рис. 4. Результати розрахунку за МГЕ пальового поля висотної будівлі з урахуванням взаємодії активних зон в пальовому полі будівлі

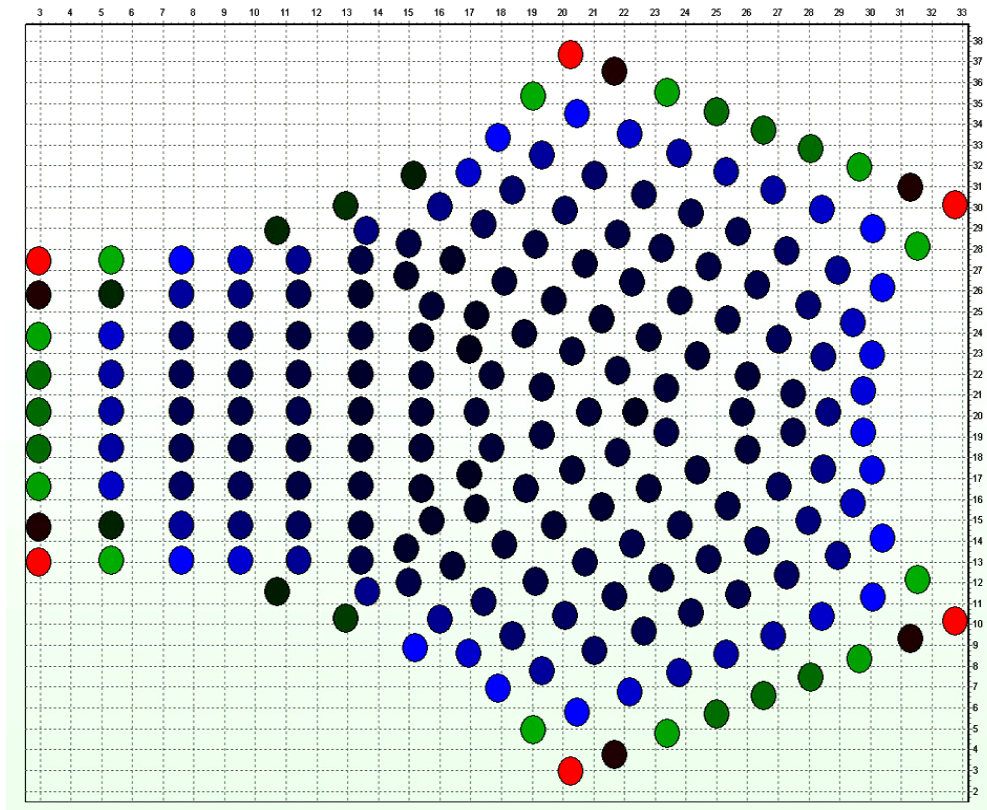


Рис. 5. Результати розрахунку пальового поля в кольорі:
 ● - 186 кН, ● - 70,5 кН, ● - 46,9 кН, ● - 58,8 кН

При врахуванні частки навантаження, яке може витримати фундаментна плита товщиною 40 см (близько 37.000 кН), величина осідання будівлі (рис. 4) становить приблизно 15,6 см. За даними експериментальних досліджень, після завершення будівництва (250 діб) осідання на 762 добу практично стабілізувалась і становило 13,2 см [1].

Висновки

1. Результати математичного моделювання за МГЕ підтверджують можливість плитно-

пальових фундаментів забезпечувати для зведених на них будівлях допустимі значення осідань.

2. Запропонована дилатансійна математична модель розрахунку ґрунтів за МГЕ дозволяє достовірно аналізувати та отримувати дані прогнозного характеру.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мангушев Р. А, Фадеев А. Б. Плитно-свайный фундамент для здания повышенной этажности // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2008. – №1. - С. 15 - 19.
2. Моргун А. С, Ніцевич А. В., Моргун І. М. Комп'ютерна технологія розрахунку пальового поля висотних будівель із збільшеним кроком паль // Вісник ВПІ - 2007.
3. Готман Н. З. Определение параметров свайного поля из забивных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. -2003. - №2. - С. 2 - 6.

Моргун Алла Серафимівна – д. т. н., проф., завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва.

Ніцевич Андрій Віталійович – аспірант кафедри промислового та цивільного будівництва.
Вінницький національний технічний університет.