

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

І. М. Меть, А. С. Моргун

**МОДЕЛЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ
КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ З ОСНОВАМИ
ТА ФУНДАМЕНТАМИ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2015

УДК 624.044:624.15:624.94+519.642

ББК 38.112:38.58:38.53+22.161.6

M54

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 25.04.2013 р.)

Рецензенти:

І. П. Бойко, доктор технічних наук, професор

О. А. Савицький, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

М. Ф. Друкований, доктор технічних наук, професор

Меть, І. М.

M54 Моделювання сумісної роботи каркасних будівель з основами та фундаментами : монографія / І. М. Меть, А. С. Моргун. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 140 с.

ISBN 978-966-641-571-7 (PDF)

В монографії наведено огляд сучасних методик врахування сумісної роботи системи «будівля–фундамент–основа», викладено теоретичні основи дослідження взаємодії такої системи, застосувавши метод граничних елементів з використанням дилатансійної моделі пластичної течії. Проведено числові дослідження взаємодії будівлі, фундаментних конструкцій та основи за методом скінчених елементів та методом граничних елементів. Монографія розрахована на науковий та інженерно-технічний персонал, який займається розрахунком будівельних конструкцій сучасними числовими методами, а також на студентів та аспірантів інженерно-будівельних спеціальностей.

УДК 624.044:624.15:624.94+519.642

ББК 38.112:38.58:38.53+22.161.6

ISBN 978-966-641-571-7 (PDF)

© І. Меть, А. Моргун, 2015

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД РОБІТ З ДОСЛІДЖЕНЬ НДС СИСТЕМИ «НАЗЕМНА СПОРУДА–ФУНДАМЕНТ–ОСНОВА»	8
1.1 Сучасні числові методи розрахунку.....	8
1.2 Загальна характеристика існуючих програмних комплексів, що дозволяють виконувати математичне моделювання, їх переваги та недоліки.....	9
1.3 МСЕ як математична основа для числового моделювання висотних будівель	11
1.4 Стан питання з досліджень взаємовпливу НДС наземної та підземної частини будівель	14
1.5 Уявлення про теорії деформування ґрунтів. Теорії пластичності.	21
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ РОЗРАХУНКУ НДС СИСТЕМИ «БУДІВЛЯ–ФУНДАМЕНТ–ОСНОВА».....	31
2.1 Основні критерії складання розрахункових моделей висотних будівель	31
2.2 Етапи створення конструктивної схеми будівель	38
2.3 Аналіз НДС ґрунтових основ будівель методом граничних елементів	41
2.3.1 Основне співвідношення МГЕ. Апроксимація інтегрального співвідношення.....	42
2.3.2 Загальний вигляд числової процедури розв’язання граничної задачі механіки твердого деформованого тіла.	45
2.4 Елементи теорії пластичного деформування ґрунту	49
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ВРАХУВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ НАЗЕМНОЇ ТА ПІДЗЕМНОЇ ЧАСТИН БУДІВЛІ.....	52
3.1 Визначальні фактори, що впливають на сумісну роботу наземної та підземної частини висотних будівель	52
3.2 Вплив техногенних факторів	52

3.3 Дослідження методом граничних елементів деформування круглих в плані фундаментів	64
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИЗНАЧАЛЬНИХ ФАКТОРІВ НА НДС СИСТЕМИ «БУДІВЛЯ–ФУНДАМЕНТ– ОСНОВА»	67
4.1 Вплив величини осідання будівлі на перерозподіл зусиль в системі «будівля–фундамент–основа».....	67
4.2 Вплив жорсткості елементів наземних конструкцій на роботу системи «будівля–фундамент–основа».....	79
4.2.1 Вплив жорсткості горизонтальних елементів наземної частини на перерозподіл зусиль при врахуванні сумісної роботи системи «будівля–фундамент–основа».	82
РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РЕАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ	87
5.1 Дослідження НДС будівлі в м. Вінниці по вул., Пирогова, 89-А	87
5.2 Дослідження просторової постановки сумісної роботи системи «будівля–фундамент–основа»	96
5.3 Експериментальні дослідження осідання будівлі.....	103
5.4 Вплив напластувань ґрунтової основи на вибір фундаментної конструкції будівлі в м. Вінниці по вулиці Пирогова, 134.....	105
5.4.1. Плитний варіант фундаментів будівлі по вулиці Пирогова, 134 в м. Вінниці.	105
5.5 Методи числової реалізації пошуку НДС системи «будівля–фундамент–основа»	110
5.5.1. Теоретичні засади розв’язання крайової задачі пошуку НДС в фундаментних конструкціях.....	110
5.5.2 Вибір оптимального варіанту фундаментних конструкцій з використанням МСР, МГЕ, МСЕ (ПП Plaxis 3D foundation).	113
5.6 Оптимізація пальового поля десятиповерхової будівлі в м. Козятині	118
ЛІТЕРАТУРА.....	125

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДБНіП	– державні будівельні норми і правила
ЕОМ	– електронно-обчислювальна машина
МГЕ	– метод граничних елементів
МСЕ	– метод скінченних елементів
МСР	– метод скінченних різниць
НДС	– напружено-деформований стан
ПК	– програмний комплекс
САПР	– системи автоматизованого проектування
СЕ	– скінченний елемент
СЛАР	– система лінійних алгебраїчних рівнянь

ВСТУП

В сучасному міському будівництві домінує багатопверхове житлове будівництво з чіткою тенденцією до збільшення поверховості будівель, яке піднімає навантаження на основи до 1 МПа. Несучим остовом таких будівель є каркас з монолітного залізобетону, робота якого з основами, з точки зору раціонального проектування, вивчена недостатньо. Тому сучасний проект споруди потребує тісної співпраці конструктора та геотехніка ще на етапі архітектурного вирішення з метою уникнення помилок, пов'язаних з недостатнім врахуванням властивостей ґрунтів. Успішне розв'язання задачі потребує використання новітніх інструментів розрахунку системи «будівля–фундамент–основа» з залученням пружно-пластичних моделей основи. Поняття «система» широко використовується майже у всіх областях науки і техніки, її описують набором математичних абстракцій із залученням математичних апаратів (диференціальні та інтегральні обчислення). Розрахункові рівняння стану системи (математична модель) мають слугувати для вивчення кола питань, пов'язаних з уявленнями про структуру, функціонування системи, взаємозв'язок між різними параметрами системи.

Сучасна методика проектування основ заснована на ідеї, що опір основи має перебільшувати напруження, які в них розвиваються без надмірних запасів міцності. Тому при вирішенні практичних задач фундаментобудування виникає необхідність якомога точніше оцінити міцність ґрунтів, вивчити їх напружено-деформований стан. Урахування сумісної роботи системи «будівля–фундамент–основа» є одним з основних принципів проектування основ і фундаментів в сучасних нормативних документах – ДБН В.2.1-10-2009 «Основи і фундаменти будівель та споруд», які включають прямі вказівки щодо необхідності проведення сумісних розрахунків. Адже будівля в процесі свого існування знаходиться в постійному контакті та взаємодії з ґрунтовою основою, яка є найбільш слабкою ділянкою в системі. Деформації ґрунтового середовища характеризуються одночасним протіканням великої кількості складових фізико-механічних процесів. Для пористого

середовища ґрунту характерними є деформації зсувів та зміни об'єму, які залежать від явищ контрактансії та дилатансії.

Як відомо, кошторисна вартість будівництва фундаментів сягає близько 40% загальної вартості будівлі. Тому надійне та економічне проектне вирішення фундаментних конструкцій може дати аналіз напружено-деформованого стану (НДС) системи «будівля–фундамент–основа» в цілому. Розв'язання такої багатофакторної контактної задачі взаємовпливу наземної та підземної частини будівлі можливе лише при орієнтації на нові технології розрахунку із застосуванням засобів числового моделювання та розгляду процесу деформування ґрунтової основи в нелінійній постановці. Оскільки сучасне числове моделювання є найбільш доступною якщо не єдиною технологією прогнозування зміни поведінки об'єкту при цілеспрямованій зміні вхідних параметрів нелінійної моделі.

Крім того, викладеними в ДБН методиками розрахунку не вичерпується вся різноманітність проблеми, яку висуває практика проектування в будівництві. Пластичні деформації та складні інженерно-геологічні умови призводять до значного перерозподілу зусиль, який нерідко здійснює значний вплив на НДС всієї системи, розвантажуючи окремі ділянки системи «будівля–фундамент–основа» та довантажуючи інші.

При дослідженні динамічних характеристик, в спектрі частот при врахуванні основи з'являються додаткові піки, що змінюють картину спектра, підтверджуючи наявність взаємодії наземної та підземної частин будівлі. Це обумовлює необхідність урахування в розрахункових моделях будівлі роботи ґрунтової основи, якій властива різка неоднорідність, дисперсність складу, значно менша жорсткість в порівнянні з наземною частиною.

Таким чином, споруда є чутливим індикатором зміни НДС однієї з її частин, тому врахування перерозподілу зусиль між складовими системи «будівля–фундамент–основа» сприятиме реалізації наявних резервів несучої здатності системи, при збереженні надійності, більш достовірній оцінці її експлуатаційних якостей і може вказувати на доцільність заходів покращення міцнісних та деформативних характеристик системи.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД РОБІТ З ДОСЛІДЖЕНЬ НДС СИСТЕМИ «НАЗЕМНА СПОРУДА–ФУНДАМЕНТ–ОСНОВА»

1.1 Сучасні числові методи розрахунку

Сучасні числові методи розрахунків є своєрідним мостом між теорією споруд та механікою твердого деформованого тіла з однієї сторони та потребами практики проектування з іншої. Серед методів розрахунку конструкцій з використанням ЕОМ слід виділити основну групу – це методи розв’язання крайових задач будівельної механіки та механіки деформованого тіла: метод скінченних різниць (МСР), метод скінченних елементів (МСЕ), метод граничних елементів (МГЕ) а також їх модифікації.

Ці методи пропонують розглядати систему із 15 диференціальних рівнянь в частинних похідних одним із двох підходів. У першому випадку – застосовують апроксимацію диференційних операторів в рівняннях більш простими алгебраїчними співвідношеннями (кінцево-різницевиими), що діють у вузлах дискретизованої області. Такий підхід отримав назву скінченних різниць. Цей метод є одним із перших числових методів розв’язання крайових задач. Його можна застосовувати до будь-якої системи диференціальних рівнянь, але врахування граничних умов задачі часто є громіздкою та важко програмованою задачею. Точність числового розв’язку залежить від кількості вузлів (кроку дискретизації), тому для отримання адекватних результатів доводиться мати справу з системами алгебраїчних рівнянь доволі високого порядку.

Другий підхід до розв’язання крайової задачі базується на використанні МСЕ, відповідно до якого суцільне середовище розбивається на ряд елементів, які можна розглядати як окремі частини. Цей метод може застосовуватись як на варіаційних принципах, так і на більш загальних виразах методу зважених нев’язок.

Альтернативним числовим методом є МГЕ, який використовує поверхневу дискретизацію досліджуваного об’єкта, тому для тривимірної задачі фундаментобудування це більш ефективний метод. МГЕ фактично став розвитком теорії потенціалу на основі сучасних методів апроксимації, що були удосконалені в рамках МСЕ. Розв’язок конкретних задач роз-

рахунку конструкцій та підвалин з використанням МГЕ можливий при наявності відповідного фундаментального розв'язку (точної або наближеної функції Гріна). Розрізняють два підходи до формулювання задачі для розв'язання МГЕ: прямий – формулювання на основі формули Сомільяни та непрямий – зведення розв'язання до знаходження щільності потенціалу. В тому чи іншому випадку задача зводиться до перетворення вхідних розрахункових диференціальних рівнянь в еквівалентну систему інтегральних рівнянь. Така операція дає можливість отримати систему рівнянь, що відноситься до границі області. Це приводить до того, що в МГЕ потрібно дискретизувати лише поверхню, а не всю область, як це потрібно робити при застосуванні МСЕ. МГЕ знайшов використання в задачах пов'язаних з теорією потенціалу, теорією пружності, пластичності, в'язкопластичності, в питаннях теорії теплопровідності, в розрахунках згинання тонких пластин, коливань деформованих тіл, розповсюдженні хвиль в середовищах, динаміці рідини та багатьох інших [146].

Таким чином, в зв'язку з можливістю використання ЕОМ в розрахунках підвалин та фундаментів, актуальним питанням є розробка методик використання МГЕ, які мають значні переваги в порівнянні з іншими числовими методами, особливо для областей з нескінченними границями [83, 95].

1.2 Загальна характеристика існуючих програмних комплексів, що дозволяють виконувати математичне моделювання, їх переваги та недоліки

Можливість отримання точних розв'язків для прикладних задач теорії пружності обмежена. Як для плоских, так і для просторових задач точні розв'язки можна отримати для областей з геометрично простими границями. З цієї причини давно усвідомлена необхідність використання ефективних числових методів. Потужний сучасний метод досліджень – числовий експеримент (для деяких задач єдиноможливий) об'єднує фізичний зміст задачі, її математичне формулювання і числовий спосіб розв'язання. Проблему прогнозування поведінки сучасної висотної споруди (системи «будівля–фундамент–основа») можна вирішити лише засобами числового моделювання з використанням швидкодійних електронних обчислювальних машин (ЕОМ) та су-

часних числових методів розв'язання крайових задач – методу скінченних елементів (МСЕ) та методу граничних елементів (МГЕ).

Сучасні ЕОМ та інформаційні технології ліквідували бар'єр між проектувальником та програмним забезпеченням. Зараз ЕОМ виступає незмінним інструментом, без якого немислима робота інженера-будівельника. В першу чергу це програми для підготовки креслень та, звичайно, розрахункові програмні комплекси (ПК) [96, 108]. Сучасні ПК дають можливість глибокого аналізу конструктивних вирішень. Інколи задача проектування поставлена недостатньо чітко і можливі зміни під час проектування. Тому процес проектування досить часто має ітераційний характер, при виконанні цих ітерацій вирішуються проблеми економічності, міцності та безпеки споруди.

В даний час існує більше сотні програмних комплексів, в більшій або меншій мірі орієнтованих на розрахунок конструкцій [20, 26]. Всіх їх об'єднує реалізація МСЕ в переміщеннях. Це говорить про те, що ще не знайдена дієва альтернатива МСЕ в переміщеннях, хоча цей метод має деякі недоліки при розрахунках наземної частини споруди: не враховуються граничні умови на межі лінійного контакту сусідніх елементів, які відображають значення зусиль і напружень в цій же зоні, збіжність розв'язків по напруженнях значно менша, ніж по переміщеннях, навіть у разі, коли дослідника цікавлять параметри НДС в локальній зоні, у будь-якому випадку необхідно розглядати скінченно-елементну модель всієї конструкції [16].

Як наслідок, ейфорія від можливостей МСЕ характерна для перших етапів його розвитку вже давно пройшла.

Серед сучасних ПК можна виділити найбільш продуктивні ПК, більшість з яких дозволяє враховувати фізичну та геометричну нелінійність роботи матеріалу споруди: SCAD, ALLPLAN, STRUDL, ANSYS, ROBOT, DIANA, STARK, ЛІРА-САПР, АСНД «VESNA».

Для фахівця, що займається безпосередньо проектуванням будівельних об'єктів, безумовно, зручнішим у використанні буде ПК, що має конструктивні підсистеми, в яких реалізовані стандарти і норми того регіону, для якого фахівець виконує проектування [26]. Американські програми, що мають конструюючі підсистеми, в основному реалізують норми США і Канади. Європейські програми, включаючи про-

грамні комплекси STARK і ЛІРА-САПР реалізують Єврокод. В програмних комплексах STARK і ЛІРА-САПР реалізовані також норми країн СНД, тому для цього регіону саме ці програмні комплекси є найпривабливішими.

Поява ЕОМ в кінці 80-их змістила акценти в процесі створення і функціонування проектуючих систем [37, 98]. У проектувальників з'явилась можливість виконувати проектування в режимі реального часу і в повній мірі використовувати переваги системи «інженер–комп'ютер».

ПК ЛІРА-САПР дозволяє досліджувати загальну стійкість моделей що розраховуються, перевірити міцність перерізів елементів за різними теоріями руйнувань, надає можливість проводити розрахунки з врахуванням фізичної і геометричної нелінійності, моделювати процес зведення споруди з урахуванням монтажу і демонтажу елементів. ПК ЛІРА-САПР має інформаційний зв'язок з найбільш поширеними графічними і архітектурними системами AutoCAD, ArchiCAD, Allplan) [58].

1.3 МСЕ як математична основа для числового моделювання висотних будівель

В сучасних ПК найбільш важливими в практиці проектування є метод скінченних елементів (МСЕ), реалізований у формі переміщень [110]. В МСЕ в формі переміщень шуканими функціями є переміщення, які визначаються із умови мінімуму функціоналу Лагранжа. Вибір саме цієї форми пояснюється простотою її алгоритмізації і фізичної інтерпретації, наявністю єдиних методів побудови матриць жорсткості і векторів навантажень для різних типів скінченних елементів, можливістю врахування довільних граничних умов і складної геометрії конструкції, що розраховується [57, 60, 69, 122, 132, 135]. Реалізований варіант МСЕ використовує принцип можливих переміщень Лагранжа який стверджує, що при переході пружної системи під дією зовнішнього навантаження з недеформованого стану в деформований рівноважений стан сумарна робота, що здійснюється в цьому процесі зовнішніми і внутрішніми силами, дорівнює нулю. Звідси дійсна ро-

бота зовнішніх сил рівна роботі внутрішніх сил з протилежним знаком. Згідно з [37]:

$$a(u, v) = (f, v), \quad (1.1)$$

де u – шуканий точний розв’язок; v – будь-яке можливе переміщення; $a(u, v)$, (f, v) – можливі роботи внутрішніх і зовнішніх сил.

Континуальне середовище розбивається на скінченні елементи Ω (фрагменти), призначаються вузли і їх ступені вільності L_i (переміщення і кути повороту вузлів). Суть принципу фрагментації – взаємодія фрагменту з іншою конструкцією замінюється дією силових або деформаційних факторів в місцях примикання відокремленої частини.

Ступеням вільності відповідають базисні (координатні, апроксимуючі) функції μ_i , відмінні від нуля тільки на відповідних вершинах елементів і, що задовольняють умову

$$L_j \mu_i = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}. \quad (1.2)$$

Наближений розв’язок U_h шукається у вигляді лінійної комбінації базисних функцій

$$U_h = \sum_{i=1}^N u_i \mu_i, \quad (1.3)$$

де u_i – числа; N – кількість ступенів вільності.

Оскільки розв’язання нелінійних задач зводиться до послідовності лінійних, то виникає потреба розгляду основ розв’язку лінійної задачі [150].

Підставляючи в (1.1) U_h замість U і μ ($j=1, \dots, N$) замість v , отримаємо систему рівнянь МСЕ

$$\sum_{i=1}^N u_i a(\mu_i, \mu_j) = (f, \mu_j), i = 1, \dots, N. \quad (1.4)$$

Позначивши K матрицю жорсткості з елементами $k_{i,j} = a(\mu_i, \mu_j)$, P – вектор навантажень, з елементами $P_i = (f, \mu_i)$ і X – шуканий вектор з елементами u_i , запишемо систему (1.3) в матричній формі:

$$K \cdot X = P. \quad (1.5)$$

Таким чином, застосування МСЕ зводить задачу до розв’язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь (1.5). Розв’язавши її, знаходи-

мо вектор X , потім з (1.2) – решту компонентів напружено-деформованого стану.

Важливою перевагою викладеного методу [37–41, 128] є те, що матрицю K і вектор P отримують підсумовуванням відповідних елементів матриць жорсткості і векторів навантажень, побудованих для окремих скінченних елементів.

Для МСЕ в переміщеннях відомі умови збіжності і оцінки похибки [47, 50]. Умовами збіжності є лінійна незалежність і повнота системи базисних функцій, а також їх сумісність, або умови, що компенсують несумісність. Сумісність означає, що всі базисні функції є можливими переміщеннями. Лінійна незалежність виходить з (1.1). Відомі умови, що легко перевіряються, дозволяють встановити повноту базисних функцій, їх спільність або виконання умов, що компенсують несумісність. Ці умови мають вигляд рівності, яку повинні задовольняти базисні функції на кожному скінченному елементі [67]. Така теоретична основа дозволяє не тільки досліджувати коректність застосування відомих скінченних елементів, але і розробити принципи конструювання нових сумісних і несумісних елементів і отримати для них оцінки похибки.

Після того, як задана конструкція представлена у вигляді скінченно-елементної схеми, завдання про визначення переміщень вузлів зводиться до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь

$$AX=B, \quad (1.6)$$

де A – симетрична позитивно визначена матриця розміром $N \times N$; B – матриця правих частин (завантажень) розміром $N \times k$ (k – кількість завантажень); X – шукана матриця переміщень розміром $k \times N$.

Для розв'язання системи (1.6) заздалегідь проводиться трикутне розкладання матриці A . Якщо в процесі трикутного розкладання матриці A з'ясується, що A вироджена, то проводиться автоматичне накладення зв'язків, які забезпечують геометричну незмінність. При цьому користувачеві надається інформація про номери вузлів і номери ступенів свободи, на яких проведено накладення зв'язків. В цьому випадку рекомендується уважно проаналізувати розрахункову схему і з'ясувати походження геометричної змінності конструкції [67].

Додатковим сервісним засобом є контроль розв'язання системи (1.6). При появі повідомлення про значну величину похибки розв'язку, яке як правило є наслідком поганої обумовленості матриці A , слід уважно проаналізувати величини переміщень вузлів і переконатися в тому, що отриманий розв'язок є прийнятним [37; 38].

1.4 Стан питання з досліджень взаємовпливу НДС наземної та підземної частини будівель

Складність розв'язання проблеми вдосконалення складання розрахункових схем висотних каркасних будівель, полягає не лише у використанні відповідного програмного комплексу, а насамперед в прийнятті обґрунтованої фізичної моделі, що коректно описує процеси деформування матеріалу середовищ, у виборі розрахункової схеми та реалізації алгоритмів розрахунку, які забезпечують достовірність результатів розрахунку.

Ситуація ускладнюється відсутністю універсального методу чи моделі, які можна застосовувати до будь-якого середовища. Кожна постановка задачі повинна включати аналіз та особливий підхід, що вимагає від сучасного проектувальника не лише вміння правильно розробити документацію, але й мати достатні навички та знання в питаннях чисельного моделювання та механіки ґрунтів [10, 11, 117].

Врахування можливостей сучасних ЕОМ та числових методів відкриває перспективи розв'язання цієї актуальної проблеми сьогодення. Отримання надійних результатів моделювання потребує використання нелінійних пружно-пластичних моделей.

На теперішній день згідно зі зміною № 1 до ДБН В.2.1–10–2009 рекомендується виконувати сумісні розрахунки НДС системи «будівля–фундамент–основа». Диференціація та розгляд окремих частин процесу деформування будівлі потребує врахування і взаємодії цих складових частин суцільного об'єкта «будівля–фундамент–основа» [103, 136].

Врахування сумісної роботи системи приводить до перерозподілу внутрішніх зусиль в системі. Взаємовплив ЕОМ, числових методів та інженерної практики створюють принципові передумови до переходу від задач розрахунку окремих елементів споруди (перший крок в зага-

льному ітераційному процесі розрахунку), до розгляду споруди як єдиної системи «будівля–фундамент–основа». Сучасні висотні будівлі створюють суттєві локальні навантаження (до 1 МПа) в наслідок значної маси залізобетонних конструкцій та великої парусності стін [9, 64].

Надійне та економічне проектне вирішення споруди може дати аналіз роботи цілісної системи «будівля–фундамент–основа», оскільки будівля знаходиться в постійному контакті та взаємодії з ґрунтовою основою.

При проектуванні фундаментів на натуральній основі за другим граничним станом – допустимих осіданнях, в залежності від конструкції будівлі, типу фундаменту, ґрунтових умов, зазвичай обмежуються середніми граничними величинами – 10–18 см, відносними прогинами – 0,006–0,0024 довжини ділянки, що згинається [103]. Будівлі при цих осіданнях нормально експлуатуються і ніяких деформацій конструкцій не спостерігається. Однак, при проектуванні пальових фундаментів із висячих паль їх несуча здатність до 1979-го року оцінювалась при осіданні 8–10 мм [8], а на теперішній час – при осіданнях 16–20 мм. Таким чином, гранично допустимі осідання фундаментів із висячих паль в 6–9 разів менші величини граничного значення середнього осідання будівлі (відповідно до ДБН В.2.1–10–2009 «Основи і фундаменти будівель та споруд»), отже прийнята на теперішній час методика визначення несучої спроможності висячих паль, при вище згаданих граничних осіданнях, дає значний запас.

Крім того, робота пальового поля із висячих паль відрізняється від роботи одиночної палі. При роботі паль в пальовому полі значно змінюється характер і закономірності передачі навантаження на ґрунт. На величину активної зони і осідання пальового поля впливають відстань між палями, їх число, обпирання ростверку на ґрунт, зміна ґрунтових умов в активній зоні та багато інших факторів. Для пальових фундаментів характерне плавне зростання осідань в міру збільшення навантажень.

Прогнозування можливих наслідків дії осідання основи на конструкції будівлі на етапі проектування об'єкта є складною багатофакторною задачею. На сьогоднішній день таке прогнозування можливе

лише при орієнтації на нові технології розрахунку із застосуванням засобів числового моделювання.

Сучасне діагностування будівельних об'єктів засновано на наукових платформах, які швидко розвиваються і дозволяють удосконалювати розрахункові схеми, піднімати рівень їх адекватності. Процедура моделювання поведінки будівлі в цій роботі реалізується на основі методу скінченних елементів (наземна частина) та методу граничних елементів (підземна частина). Розрахунок надземних конструкцій з використанням числових методів на теперішній час успішно ввійшло в повсякденну практику проектування. Для проектувальників стало звичним використовувати традиційні підходи до моделювання роботи наземних конструкцій. Конструкції наземної частини будівель моделюються стержневими і пластинчатими (оболонковими) елементами. Як вказано вище, існує велика кількість як вітчизняних, так і зарубіжних програм, що дозволяють розглядати конструкції, набрані із такого типу скінченних елементів із відповідної бібліотеки СЕ сучасних ПК.

При виконанні розрахунків в таких відомих програм як SCAD, ЛРА-САПР, ROBOT дуже важливою є можливість розрахункових схем вільно конвертуватись в середовище одне одного. Це ж відноситься і до креслень, виконаних в програмних комплексах AutoCAD, ArchiCAD, Компас.

Мотивацією розгляду сумісної роботи системи «будівля–фундамент–основа» став той факт, що використання традиційних нормативних методик розрахунку призводить до значних похибок.

В сучасних документах [103], що регламентують проектування основ висотних будівель, рекомендуються інженерні методики розрахунку осідань фундаментів на натуральній основі, які використовують схему «пошарового підсумовування». Такий підхід теоретично менш обґрунтований ніж використання тривимірного пружнопластичного підходу на основі МСЕ. Та при використанні МСЕ виникають відомі труднощі, починаючи від вибору моделі ґрунту і забезпечення її достовірними значеннями параметрів, закінчуючи вибором розмірів розрахункової області. В цьому випадку ефективність числового прогнозу залежить від низки важко визначуваних факторів.

На теперішній час проектування несучих конструкцій будівлі базується на припущенні, що споруда опирається на стискувану основу. В наслідок чого, підстилаючий ґрунт деформується від ваги споруди.

На відміну від припущень у застарілих нормах, в яких припускалось, що подошва споруди залишається плоскою і відповідно осідання усіх точок споруди практично однакове. Коли ж під вагою споруди навантажена поверхня основи прогинається, подошва фундаментної конструкції споруди теж стає зігнутою, це викликає деформування всієї системи. Додаткові напруження, що викликані цією деформацією, не враховувались при проектуванні наземних конструкцій, керуючись застарілими нормами. Та в багатьох випадках вони настільки значні, що можуть погіршити зовнішній вигляд будівлі, або викликати пошкодження в ній. В результаті складності механічних властивостей ґрунтів і впливу особливостей напластування основи, осідання будівлі може бути передбачене лише в окремих випадках, та теоретичний аналіз явища осідання необхідний. Досвід показав, що вертикальний (контактний) тиск може бути розраховано з достатньою точністю при припущенні, що основа будівлі є пружною та однорідною.

Після того як проектувальник визначив розміри фундаментів таким чином, щоб нерівномірність осідання не була дуже великою і загрозовою для споруди, він має розрахувати їх на міцність. Для цього визначаються згинальні моменти і поперечні сили в тих елементах фундаменту, що передають навантаження від будівлі на ґрунт. Тиск, що діє на подошві фундаментів чи фундаментної плити на ґрунт, називається контактним тиском.

В схемі «плита–жорсткий штамп» – поверхня деформованої під навантаженням основи має збігатися з подошвою штампа, тобто площиною. Хоч ця схема урахування жорсткості конструкцій будівлі в деякому сенсі є «найпростішою», вона в основному відображає реальність завантаження основи саме для висотних будівель, для яких плита більша 1...1,5 м забезпечує значну жорсткість конструкції в тому числі для перших поверхів. Подальше збільшення поверховості будівлі (зазвичай монолітно-каркасного типу) робить робочу схему взаємодії «штамповою» моделлю. Епюри контактних тисків по подошві жорсткого фундаменту для різних фундаментів на початковій фазі завантаження (p_1) та коли навантаження на фундамент сягнуло граничного ($p_{гр}$) мають різні окреслення (рис. 1.1а, б).

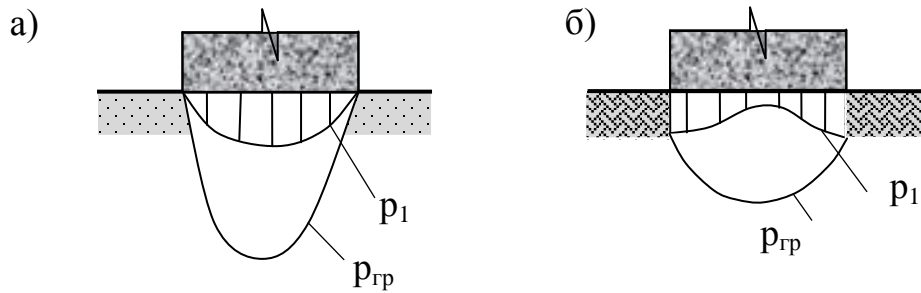


Рисунок 1.1 – Розподіл контактної тиску по підшві гладкого жорсткого фундаменту на основі із: піску без зчеплення (а); ґрунту проміжного між чисто зв’язними ґрунтами (глинами) та чисто сипучими (пісками) (б).

Основна різниця в рівні напружень спостерігається в місцях порушення неоднорідності структури. Якщо фундамент чи плита не є абсолютно жорсткими, то розподіл реакцій ґрунту залежить від жорсткості фундаменту на згин (рис. 1.2). Як видно із рис. 1.1 співвідношення між деформаціями основи і контактним тиском по підшві жорсткого фундаменту є далеко не простим. Коли ж фундамент гнучкий, то це співвідношення стає ще більш складним і, навіть, грубе визначення епюри дійсного контактної тиску є надто громіздким.

Та не знаючи хоча б наближеного контактної тиску, неможливо проектувати фундаментні плити. Тому загально прийнято визначати контактний тиск на основі спрощених допусків і корегувати похибку, викликану цими припущеннями, шляхом введення коефіцієнта запасу.

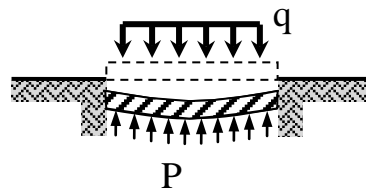


Рисунок 1.2 – Пружна плита на пружній основі під дією розподіленого навантаження

Спрощені прийоми в нормах, що діяли раніше, та класичних методиках розрахунку основ [21, 36, 62] засновані на припущенні, що осідання s будь-якого елемента завантаженої площі абсолютно не залежить від навантаження на прилеглі елементи. Далі приймається, на відміну від дійсності, що співвідношення (1.7) між інтенсивністю P тиску на елемент і відповідним осіданням s буде постійним і рівним K (кН/м³). На відміну від дійсного контактної тиску, який діє по пі-

дошві фундаменту, фіктивний тиск P , що задовольняє (1.7), називається реакцією пружної постелі. Коефіцієнт K називають коефіцієнтом постелі.

$$K = \frac{P}{S} \quad (1.7)$$

Двокомпонентна модель Пастернака, (наявність другого коефіцієнта постелі, що враховує розподільчу здатність ґрунту та вплив горизонтальних напружень) приводить до надмірного розвитку мультисідання через значну ступінь спрощення роботи масиву ґрунту [62]. Спрощені моделі роботи основи не враховують нелінійність роботи ґрунту за межами його розрахункового опору з використанням традиційних характеристик, що визначаються при інженерно-геологічних вишукуваннях.

Коли розподіл навантаження по основі є надто нерівномірним, то додаткові напруження в конструкціях, обумовлені нерівномірністю осідання, можуть бути значно понижені в результаті розподілу споруди на блоки за допомогою суцільних вертикальних швів.

При дослідженні НДС споруд виникає необхідність урахування особливостей деформування комбінованих систем (складаються із стержнів, пластин, оболонок) та особливостей конструювання вузлів, що мають різну піддатливість при різних впливах. Регулювання НДС як окремих конструкцій, так і системи в цілому відкриває можливість оптимізації параметрів будівлі.

На теперішній час реалізація прийнятого конструктивного рішення здійснюється на основі одного з вищезгаданих програмних комплексів та включає такі етапи:

- аналіз прийнятого конструктивного рішення;
- компоновка адекватної розрахункової схеми;
- скінченно-елементне моделювання;
- реалізація обчислень, візуалізація та аналіз результатів розрахунку.

При діагностуванні наземної частини споруди крайова задача механіки замінюється задачею знаходження мінімуму функціоналу (виразу повної потенціальної енергії роботи системи, потенціалу Лагранжа). Координатні функції, що апроксимують шукані (функції ста-

ну), підбираються з точки зору забезпечення збіжності, точності, обумовленості розв'язків. Це найвідповідальніший етап, оскільки саме він відповідає за збіжність методу.

На етапі дискретизації розміри сітки скінченних елементів зазвичай приймаються на основі двох попередніх розрахунків з послідовним згущенням триангуляційної сітки. Це дає можливість отримати уявлення про точність числового розрахунку. Відносна похибка результатів розрахунку з попередніми розмірами сітки, та наступними (згущення в 1,5 рази) не має перевищувати 1 %. Прийнята дискретна розрахункова схема обумовлювала знаходження НДС об'єкта з розв'язків системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) високого порядку.

Корені СЛАР дають переміщення у вузлах скінченних елементів, а за ними знаходиться решта компонент НДС. В процесі компоновки розрахункової схеми звертається увага на реалізацію з'єднань СЕ до вузлів системи, що мають різну жорсткість. З'єднання здійснюються за допомогою спеціальних елементів, що мають задану піддатливість по шуканому напрямку і безмежну жорсткість по решті напрямків. Методологія розрахунку наземної частини будівлі відображає основні тенденції сучасних САПР.

Сучасна практика розрахункового обґрунтування конструкцій будівель, що проектуються, їх фундаментів і основ передбачає проведення досліджень НДС повної системи «будівля–фундамент–основа» на обчислювальних комплексах, що в основному реалізують метод скінченних елементів.

З огляду на складність проектного сумісного розрахунку всієї системи, врахування взаємодії будівлі з ґрунтовою основою здійснюється за допомогою коефіцієнтів постелі основи, які визначаються за спрощеними нормативними методиками. А розрахунок ґрунтової основи при взаємодії з фундаментом здійснюється без урахування реальної жорсткості самої будівлі. Вищеназвані розрахунки виконуються з використанням спеціалізованих для розв'язання різних задач обчислювальних програм (програмних комплексів) і ніяк не пов'язані між собою.

В той же час, в реальних умовах розподіл вертикальних переміщень і коефіцієнтів постелі основи по площі фундаменту будівлі да-

ЛІТЕРАТУРА

1. Алейников С. М. МГЕ в контактных задачах для упругих пространственно-неоднородных оснований / С. М. Алейников. – М. : Изд-во АСВ, 2000. – 754 с.
2. Андрухов В. М. Аналіз напружено-деформованого стану елементів каркасу багатопверхових будівель при врахуванні в розрахункових схемах характеристик підвалін / В. М. Андрухов, І. М. Меть, А. В. Ніцевич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2006. – №3. – С. 96 – 104.
3. Балсон Ф. С. Заглублённые сооружения: статическая и динамическая прочность / Ф. Балсон. – М. : Стройиздат, 1991. – 241 с.
4. Барабаш М. С. Аналіз основних проблем проектування багатофункціональних висотних будівель / М. С. Барабаш, А. В. Дзюба // Будівництво України. – 2007. – № 10. – С. 38–40.
5. Барвашов В. А. Чувствительность системы «основание–сооружение» / В. А. Барвашов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2008. – № 3. – С. 10–14.
6. Бартоломей А. А. Влияние характера нагружения на результаты расчета осадки свай и свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 5. – С. 2–6.
7. Бартоломей А. А. Основы расчета ленточных свайных фундаментов по предельно допустимым осадкам / А. А. Бартоломей. – М. : Стройиздат, 1982. – 320 с.
8. Бартоломей А. А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков ; под. ред. А. А. Бартоломей. – М. : Стройиздат, 1994. – 384 с.
9. Бартоломей Л. А. Прогноз осадок сооружений с учетом совместной работы основания, фундамента и надземных конструкций : автореф. дис.... д.т.н. : 05.23.02 / Бартоломей Леонид Адольфович. – Пермь, 2003. – 32 с.

10. Бахолдин Б. В. Методика контроля буронабивных свай по результатам их динамических испытаний / Б. В. Бахолдин, А. В. Драницын // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 1. – С. 16–21.

11. Бахолдин Б. В. Особенности расчета фундаментов из буронабивных свай / Б. В. Бахолдин, П. И. Ястребов, Е. А. Парфёнов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 6. – С. 12–17.

12. Бенерджи П. К. Метод граничных элементов в прикладных науках : пер. с англ. / П. К. Бенерджи, Р. Баттерфилд. – М. : Мир, 1984. – 494 с.

13. Берг О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О. Я. Берг. – М. : Госстройиздат, 1962. – 96 с.

14. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2010-09-01].– К. : МІНРЕГІОНБУД України, 2008.

15. Бишоп А. У. Параметры прочности при сдвиге ненарушенных и перемятых образцов грунта / А. У. Бишоп ; пер. с англ. под ред. В. Н. Николаевского // Определяющие законы механики грунтов. – М. : Мир, 1975. – С. 7–75.

16. Бойко І. П. Вплив розташування паль на НДС захисних підпорних стінок / І. П. Бойко, В. М. Ключка // Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2004. – Вип. 61, т. 2.

17. Бойко І. П. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при прибудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків / І. П. Бойко, В. О. Сахаров // Основи і фундаменти : міжвідомчий науково-технічний збірник. – К. : КНУБА, 2004. – Вип. 28, – С. 3–10.

18. Бойко И. П. Напряженно-деформированное состояние упруго-пластического, дилатирующего основания свайных фундаментов / И. П. Бойко // Основания и фундаменты.– К. : Будівельник, 1986. Вып. 19. – С. 7–9.

19. Бойко И. П. Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упруго-пластическом основании / И. П. Бойко // Основания и фундаменты. – К. : Будівельник, 1985. – № 18. – С. 11–18.

20. Бондаренко В. М. Комплекс программ для расчета опертых по контуру пологих оболочек с учетом физической и геометрической нелинейности / В. М. Бондаренко, А. Л. Шагин, В. С. Шмуклер. – М. : ОФАП Госстрой СССР, 1975. – 109 с.
21. Бояндин В. С. Исследования фундаментной плиты энергетического сооружения с учетом последовательности возведения / В. С. Бояндин, А. Л. Козак // Тезисы докладов II-ой всесоюзной конференции. – Йошкар-Ола, 1989. – с. – 23.
22. Бреббия К. Методы граничных элементов / К. Бреббия, Ж. Телес, Л. Вроубел ; пер. с англ. Л. Г. Корнейчука под ред. Э. И. Григолюка. – М. : Мир, 1987. – 524 с.
23. Бугров А. К. Исследование грунтов в условиях трьохосного сжатия / А. К. Бугров. – Л. : Стройиздат, 1987. – 185 с.
24. Будівництво в сейсмічних районах України : ДБН В.1.1 – 12:2006. – [Чинний від 2007–01–02]. – К. : МІНБУД України, 2006. – 51 с.
25. Варвак П. М. Метод конечных элементов / П. М. Варвак, А. С. Городецкий, В. Г. Пискунов – К. : Вища школа, 1981. – 176 с.
26. Вайнберг Д. В. Расчет пластин / Д. В. Вайнберг, Е. Д. Вайнберг. – К. : Будівельник, 1970. – 436 с.
27. Верюжский Ю. В. Численные методы потенциала в некоторых задачах прикладной механики / Ю. В. Верюжский. – К. : Вища школа, 1978. – 183 с.
28. Верюжский Ю. В. Методы анализа безопасности объекта «Укрытие» / Ю. В. Верюжский // Проблемы чернобыльской зоны відчуження : науково-технічний збірник, 1998. – Вип. 6, – С. 58–70.
29. Визначення основних параметрів геологічної ситуації основи / А. С. Моргун, А. В. Ніцевич, І. М. Меть, О. Е. Тимошенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – № 5. – С. 63–67.
30. Винников Ю. Л. Методики моделювання взаємодії фундаментів з ущільненою основою (огляд) / Ю. Л. Винников // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. – К. : НДІБК, 2008. – Вип. 71, – кн. 1. – С. 325–333.

31. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни / В. З. Власов. – М. : Физматгиз, 1959. – 566 с.
32. Вплив техногенного фактора замокання ґрунтової основи на напружено-деформований стан висотної будівлі / А. С. Моргун, В. М. Андрухов, І. М. Меть, І. Ю. Яркіна // Дороги і мости : збірник наукових праць. – К. : ДерждорНДІ, 2009. – Випуск 11. – С. 233–238.
33. Гарагаш Б. А. Надежность пространственных регулируемых систем «сооружение–основание» при неравномерных деформациях основания / Б. А. Гарагаш. – Сочи : Кубанькино, 2004. – 908 с.
34. Гениев Г. А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г. А. Гениев, В. Н. Киссюк, Г. А. Тюпин. – М. : Стройиздат, 1974. – 316 с.
35. Гольдштейн М. Н. Механические свойства ґрунтов / М. Н. Гольдштейн. – М. : Стройиздат, 1971. – 368 с.
36. Горбунов-Посадов М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – М. : Стройиздат, 1984. – 679 с.
37. Городецкий А. С. Информационные технологии расчёта и проектирования строительных конструкций : учебное пособие / А. С. Городецкий, В. С. Шмуклер, А. В. Бондарев – Харьков : НТУ ХПИ, 2003. – 889 с.
38. Городецкий А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К. : Факт, 2005. – 344 с.
39. Городецкий А. С. К расчету тонкостенных железобетонных конструкций в неупругой стадии / А. С. Городецкий // Труды НИИСК. – 1965. – Вып. 6. – С. 86–93.
40. Городецкий А. С. Расчет железобетонных плит с учетом образования трещин методом конечных элементов / А. С. Городецкий, В. С. Здоренко. // Прикладные проблемы прочности и пластичности. – Горький : Изд. ГГУ, 1976. – С. 48–52.
41. Городецкий А. С. Сходимость метода конечных элементов для задач нелинейной теории упругости / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров, В. С. Карпиловский – К. : Деп. в УкрНИИНТИ, 1980. – № 2194. – 9 с.

42. Готман Н. З. Определение параметров свайного поля из забивных свай / Н. З. Готман // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 2. – С. 2–6.

43. Григорян А. А. О безопасности строительства на глинистых грунтах по первому предельному состоянию / А. А. Григорян // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2006. – № 5. – С. 20–25.

44. Григорян А. А. О некоторых особенностях проектирования свайных фундаментов в грунтовых условиях II типа по просадочности / А. А. Григорян // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2005. – № 1. – С. 21–25.

45. Дарков А. В. Строительная механика / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – М. : Высшая школа, 1986. – 607 с.

46. Динамический расчет зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) / Под ред. Б. Г. Коренева и И. М. Рабиновича. – М. : Стройиздат, 1984. – 303 с.

47. Евзеров И. Д. Сходимостъ прямолинейных конечных элементов при расчете криволинейных стержней / И. Д. Евзеров, В. С. Здоренко // Сопротивление материалов и теория сооружений. – К. : Будивельник, 1983. – Вып. 42. – С. 99–101.

48. Жемочкин Б. М. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. М. Жемочкин, А. П. Синицин. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.

49. Зарецкий Ю. К. Вязко-пластичность грунтов и расчеты сооружений / Ю. К. Зарецкий. – М. : Стройиздат, 1988. – 320 с.

50. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. – М. : МИР, 1971. – 542 с.

51. Зоценко М. Л. Підсилення основ і фундаментів при реконструкції будівель / М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, О. В. Борт // Бетон и железобетон в Украине. – К. : 2006. – № 1. – С. 2–8.

52. Зоценко М. Л. Сучасні проблеми пальового фундаментобудування / Микола Леонідович Зоценко // Будівельні конструкції : збірник наукових праць НДІБК. – К. : 2004. – Випуск 61, т. 2. – С. 33–39.

53. Ильюшин А. А. Труды (1946–1966). Т. 2. Пластичность сост. Е. А. Ильюшина, М. Р. Короткина. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 480 с.

54. Информатика. Информационные технологии в строительстве. Системы автоматизированного проектирования : учеб. для студ. высших уч. зав. / В. А. Баженов, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер, О. В. Шишов. – К. : Каравела, 2004. – 360 с.

55. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти : підручник / М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев [та ін.]. – Полтава : ПНТУ, 2004. – 568 с.

56. Карпенко Н. И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н. И. Карпенко. – М. : Стройиздат, 1976. – 281 с.

57. Карпиловский В. С. Конструирование несовместимых конечных элементов / В. С. Карпиловский. – К. : 1980. 50 с. (Деп. В УкрНИИНТИ, № 2153).

58. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций : учебное пособие / Ю. В. Верюжский, В. И. Колчунов, М. С. Барабаш, Ю. В. Гензерский. – К. : Изд-во НАУ, 2006. – 808 с.

59. Косте Ж. Механика грунтов : практ. курс / Ж. Косте, Г. Санглера, пер. с франц. В. А. Барвашова; под. ред. Б. И. Кулачкина. – М. : Стройиздат, 1981. – 455 с.

60. Криксунов Э. З. О расчетных моделях сооружений и возможностях их анализа. CAD Master / Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер. – 2000. – № 3. – С 38–43. – Режим доступа до журналу : http://csf.ru/file/tpxiMsktagvovrpv7790842/cm_03_rasch_modeli.pdf.

61. Крыжановский Ф. Л. Использование закона Кулона в решении задач предельного состояния оснований / Ф. Л. Крыжановский, Ю. И. Харин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1984. – № 7. – С. 24–27.

62. Клепиков С. Н. Расчет сооружений на деформируемом основании / С. Н. Клепиков. – К. : НИИСК, 1996. – 204 с.

63. Коротева Л. И. Универсальный полилинейный элемент на основе тензорных рядов / Л. И. Коротева, А. С. Сахаров, В. А. Сахаров; НТУ КПИ Деп. в ГНТБ Украины. – К. : 2000. – 11 с.

64. Леонардс Д. А. Основания и фундаменты / Под ред. проф. Д. А. Леонардса : пер. с англ. проф. М. Н. Гольдштейна. – М. : Стройиздат, 1968. – 504 с.

65. Мангушев Р. А. Плитно-свайный фундамент для здания повышенной этажности / Р. А. Мангушев, А. Б. Фадеев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2008. – № 1. – С. 15–19.

66. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред / Дж. Мейз. – М. : Мир, 1974. – 318 с.

67. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс “ЛІРА-Windows” / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров, Е. Б. Стрелец-Стрелецкий и др. – К. : ФАКТ, 1997. – 138 с.

68. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона / А. Н. Бамбура, В. Я. Бачинский, Н. В. Журавлева, И. Н. Пешкова. – К. : НИИСК Госстроя СССР 1987. – 25 с.

69. Михлин С. Г. Вариационные методы математической физики / С. Г. Михлин. – М. : Наука, 1970. – 512 с.

70. Моделювання за МГЕ процесу підсилення стрічкового фундаменту палями / А. С. Моргун, І. В. Маєвська, А. В. Ніцевич, Н. В. Блащук // Вісник ВПІ. – 2008. – № 3. – С 4–8.

71. Моделювання напружено-деформованого стану балкової клітини, що зазнала ушкоджень внаслідок нерівномірних просідань фундаментів, для розроблення раціональних заходів із підсилення / В. О. Попов, Д. М. Байда, К. О. Черноскутова, М. В. Маєвська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2010. – №1(8). – С. 6 – 15.

72. Моргун А. І. Механіка ґрунтів, підвалини та фундаменти (Розрахунок конструкцій на пружній основі) / А. І. Моргун, А. С. Моргун. – Вінниця : ВДТУ, 1997. – 120 с.

73. Моргун А. С. Аналіз впливу пружнопластичних деформацій ґрунтів основи на перерозподіл зусиль у багатоповерхових будівлях / А. С. Моргун, І. М. Меть // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2009. – №1(6). – С. 6–10.

74. Моргун А. С. Визначення навантажень на круглі фундаменти за числовим методом граничних елементів / А. С. Моргун, І. М. Меть

// Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій : зб. наук. статей. – Львів : Каменяр, 2009. – Вип. 8. – С. 497–501.

75. Моргун А. С. Врахування перерозподілу зусиль під час дослідження напружено-деформованого стану сумісної роботи системи «будівля–фундамент–основа» / А. С. Моргун, І. М. Меть // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 2. – С. 1–6. – Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009_2_ua/2009-2.files/uk/09asmbfc_ua.pdf

76. Моргун А. С. Діагностування напружено-деформованого стану каркасної монолітної будівлі за методами скінченних та граничних елементів / А. С. Моргун, В. О. Попов, І. М. Меть // Вісник ВПІ. – 2007. – № 6. – С. 21–24.

77. Моргун А. С. Ефекти взаємодії наземної та підземної частини висотних будівель / А. С. Моргун, І. М. Меть // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2010. – № 6. – С. 16–19.

78. Моргун А. С. Efforts redistribution in the "base-foundation-building" system with plasto-elastic soil base deformation / А. С. Моргун, І. М. Меть // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 33059.– К. : Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації : 29.04.2010 р.

79. Моргун А. С. Застосування методу граничних елементів у розрахунку паль в пластичному середовищі ґрунту : монографія / А. С. Моргун. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2001. – 64 с.

80. Моргун А. С. Ідентифікація несучої здатності паль методами нечіткої логіки й методом граничних елементів / А. С. Моргун, Д. І. Кательніков, І. А. Моргун // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 2. – С. 1–7. – Режим доступу до журн. : http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/2008-2.files/uk/08masmbe_uk

81. Моргун А. С. Комп'ютерні технології розрахунку фундаментних конструкцій на основі методу граничних елементів : монографія / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніщевич. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 162 с.

82. Моргун А. С. Комп'ютерна технологія розрахунку паль пальового поля висотних будівель із збільшеним кроком паль /

А. С. Моргун, А. В. Ніцевич, І. А. Моргун // Вісник ВПІ. – 2007. – № 5. – С. 41–44.

83. Моргун А. С. Метод граничних елементів в розрахунках паль : монографія / А. С. Моргун. – Вінниця : Універсум–Вінниця, 2000. – 130 с.

84. Моргун А. С. Моделювання дилатансійного середовища ґрунту системи «паль–основа» за МГЕ / А. С. Моргун // Основи і фундаменти. – К. : КНУБА, 2002. – Вип. 27. – С. 84–89.

85. Моргун А. С. Моделювання ефекту взаємодії системи «будівля–фундамент–основа» за числовим методом граничних елементів : монографія / Моргун А. С., Меть І. М., Ніцевич А. В. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 134 с.

86. Моргун А. С. Моделювання взаємодії ефективних видів фундаментів з пружно-пластичною багатопшаровою основою : дис. ... доктора технічних наук : 05.23.02 / А. С. Моргун. – К., 2005. – 290 с.

87. Моргун А. С. Пластична задача механіки руйнувань ґрунтової основи будівель за методом граничних елементів / Моргун А. С., Меть І. М., Ніцевич А. В. // Збірник НИИСК № 71 книга І. – К. : 2008. – С. 88–94.

88. Моргун А. С. Прогнозування взаємодії паль пальового поля будівлі за методом граничних елементів / Моргун А. С., Ніцевич А. В., Моргун І. А. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця. – 2007. – № 4. – С. 23 – 28.

89. Моргун А. С. Прогнозування впливу води на напружено-деформований стан лесової основи пальових фундаментів / А. С. Моргун, І. А. Моргун // Вісник ВПІ. – 2007. – № 3. – С. 20–23.

90. Моргун А. С. Формування матриці впливу методу граничних елементів при врахуванні дії вертикальних і горизонтальних напружень / А. С. Моргун, А. В. Ніцевич, І. М. Меть // Наукові праці ВНТУ. – 2007. – № 1. – С. 1–5. – Режим доступу до журн. : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/ukr/07masorp>.

91. Моргун А. С. Числові методи розв'язку крайових задач при проектуванні об'єктів фундаментобудування / А. С. Моргун, І. М. Меть // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 3. – С. 1–6. – Режим до-

ступу до журн.: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-3/2009-3.files/uk/09maseod_ua.pdf

92. Миронов В. А. Прочность и деформируемость грунтов при сложном напряженном состоянии / В. А. Миронов, О. Е. Софьин, А. Н. Гудий // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 4. – С. 5–9.

93. Навантаження і впливи : ДБН В 1.2-2:2006. – Чинний від 2007–01–01. – К. : МІНБУД України, 2006. – 60 с.

94. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Гашинский и др. – К. : АСВ, 2008. – 482 с.

95. Назаров Ю. П. Совершенствование программных средств для расчета сооружений на динамические воздействия / Ю. П. Назаров // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2002. – № 1. – С. 11–12.

96. Немчинов Ю. І. Метод просторових скінченних елементів; із застосуванням до розрахунку будівель та споруд : монографія / Ю. І. Немчинов. – К. : НДІБК, 1995. – 368 с.

97. Николаевский В. Н. Современные проблемы механики грунтов / В. Н. Николаевский // Определяющие законы механики грунтов. – М. : Стройиздат, 1975. – С. 210–227.

98. Носенко В. С. Напружено-деформований стан пальово-плитних фундаментів секційних висотних будинків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / В. С. Носенко. – К., 2012. – 23 с.

99. Одэн Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / Дж. Одэн. – М. : Мир, 1976. – 464 с.

100. Оксанович Л. В. Невидимый конфликт / Л. В. Оксанович. – М. : Стройиздат, 1981. – 191 с.

101. Опыт проектирования и эксплуатации схем мониторинга конструкций и оснований высотных зданий / С. В. Николаев, В. М. Острецов, А. В. Острецов [и др.] // Строительное производство. – 2006. – № 47. – С. 83–90.

102. Основания, фундаменты и подземные сооружения МГСН 2.07-97 – Действителен с 1998. 10. 02. – М. : Стройиздат, 1997. – 79 с.

103. Основи і фундаменти будівель та споруд : ДБН В.2.1–10–2009. – Чинний від 2009–07–01. – К. : МІНБУД України, 2009. – 199 с.
104. Орехов В. В. Учет конструкции здания при расчетах осадки фундамента и коэффициентов постели основания / В. В. Орехов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 7. – С. 2–4.
105. Павлов Д. В. Исследование релаксации сдвиговых напряжений в песках / Д. В. Павлов, В. М. Радионов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 3. – С. 7–10.
106. Пастернак П. Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели / П. Л. Пастернак. – М. : Госстройиздат, 1954. – 268 с.
107. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – К. : Сталь, 2002. – 600 с.
108. Перельмутер А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А. В. Перельмутер. – 2-е изд. перераб. и доп. – К. : Изд-во УкрНИИпроектстальконструкциия, 2000. – 216 с.
109. Пилягин А. В. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений : уч. пособие / А. В. Пилягин. – М. : АСВ, 2006. – 248 с.
110. ПК ЛИРА, версия 9.0. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие / под ред. Академика АИН Украины А. С. Городецкого. – К., – М., 2003. – 464 с.
111. Попов Н. Н. Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки / Н. Н. Попов, Б. С. Расторгуев, А. В. Забегаев. – М. : Высшая школа, 1992. – 319 с.
112. Применение метода конечных элементов к расчету конструкций на упругом основании с двумя коэффициентами постели / В. С. Здоренко, А. С. Городецкий, В. И. Елсукова, В. И. Сливкер // Сопротивление материалов и теория сооружений. – К. : Будівельник, 1975. – Вып № 27. – С. 180–192.
113. Проблеми моделювання поведінки дилатансійних основ за методом граничних елементів / А. С. Моргун, А. В. Ніцевич, І. М. Меть, І. А. Моргун // Дороги і мости : збірник наукових праць. – К. : ДерждорНДІ, 2007. – Вип. 7, т. II. – С. 88–91.

114. Проблеми ресурсу фундаментних конструкцій при реконструкції будівель / А. С. Моргун, А. В. Ніцевич, І. М. Меть, І. А. Моргун // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2006. – № 3. – С. 6–10.
115. Прогини і переміщення : ДСТУ Б В.1.2 – 3:2006. – Чинний від 2007–01–01. – К. : МІНБУД України, 2006. – 13 с.
116. Проектирование железобетонных конструкций : справочное пособие / В. Я. Бачинский, В. П. Полищук, А. В. Харченко, И. В. Руденко ; под ред. А. Б. Гольшева. – К. : Будивельник, 1990. – 544 с.
117. Пушилин А. Н. Метод расчета усилий в конструкциях зданий при деформировании основания из-за проходки подземной выработки / А. Н. Пушилин, А. В. Фаворов, В. И. Шейнин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 3. – С. 2–7.
118. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела : учеб. пособие для вузов. / Ю. Н. Работнов. – 2-е изд., испр. – М. : Наука, 1988. – 712 с.
119. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона : проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии / А. С. Городецкий, Л. Г. Батрак, Д. А. Городецкий [и др.] – К. : Факт, 2004. – 106 с.
120. Расчет осадок зданий и сооружений на слабых глинистых грунтах с учетом деформаций сдвига во времени / М. А. Лучкин, В. М. Улицкий, А. Г. Шаликин, К. Г. Шаликин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 2. – С. 13–17.
121. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций. – М. : Стройиздат, 1975. – 192 с.
122. Розин Л. А. Задачи теории упругости и численные методы их решения / Л. А. Розин. – СПб. : СПбГТУ, 1998. – 530 с.
123. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, нейронные сети, генетические алгоритмы / А. П. Ротштейн. – Винница : Универсум–Винница, 1999. – 320 с.

124. Сахаров В. О. Моделювання багатоповерхового будинку на нелінійній основі в умовах прибудови / В. О. Сахаров // Світ геотехніки. – 2006. – № 4. – С. 25–28.

125. Сахаров В. О. Моделювання взаємодії пальового фундаменту з нелінійною основою в умовах прибудови : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / В. О. Сахаров. – К., 2005. – 23 с.

126. Свайные фундаменты : СНиП 2.02.03 – 85 – Действителен с 1987–01–01. – М. : Стройиздат, 1985. – 92 с.

127. Моргун А. С. Розрахунок стрічкового фундаменту за методом скінченних різниць (МСП) з використанням коефіцієнта жорсткості основи / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніцевич // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму № 28357. – К. : Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 09.04.2009 р.

128. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.

129. Седов Л. И. Механика сплошной среды / Л. И. Седов. – М. : Наука, 1970. – 540 с.

130. Соломин В. И. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций / В. И. Соломин, В. Б. Шматков. – М. : Стройиздат, 1986. – 208 с.

131. Стасюк М. І. Залізобетонні конструкції. Ч. 1. Основи розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами : навч. посібник / М. І. Стасюк. – К. : ІЗМН, 1997. – 272 с.

132. Стренг Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс. – М. : Мир, 1977. – 349 с.

133. Тейлор Д. В. Основы механики грунтов / Д. В. Тейлор ; пер. с англ. под ред. Цытовича Н. А. – М. : Госстройиздат, 1960. – 598 с.

134. Тер-Мартirosян З. Г. Взаимодействие свайного фундамента с грунтом / З. Г. Тер-Мартirosян, З. Н. Нгуен, А. Н. Динь // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 2. – С. 2–7.

135. Тихий М. Расчет железобетонных рамных конструкций в пластической стадии. Перераспределение усилий / М. Тихий, Й. Ракосник ; пер. с чешского – М. : Стройиздат, 1976. – 198 с.

136. Трофимчук А. Н. Надёжность систем сооружения – грунто-вое основание в сложных инженерно-геологических условиях / Трофимчук А. Н., Черный В. Г., Черный Г. И. – К. : Полиграфконсалтинг, 2006. – 248 с.

137. Улицкий В. М. Геотехническое сопровождение реконструкции городов / В. М. Улицкий, В. Г. Шашкин. – М. : АВС, 1999. – 327 с.

138. Федоровский В. Г. Предельное давление на ряд ленточных фундаментов и эффект «непродавливания» / В. Г. Федоровский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2006. – № 3. – С. 9–14.

139. Феодосьев В. И. Применение шагового метода к анализу устойчивости сжатого стержня / В. И. Феодосьев // Прикладная математика, 1963. – № 2. – С. 265–274.

140. Хазин В. И. Экспериментальные исследования зависимости несущей способности пирамидальных свай от угла коничности / В. И. Хазин // ОиФ. – К. : Будівельник, 1972. – Выпуск 5. – С. 124–128.

141. Хоу В. К. Основы инженерного грунтоведения / В. К. Хоу. – М. : Стройиздат, 1966. – 460 с.

142. Шапиро Д. М. Упруго-пластичный анализ несущей способности оснований реконструируемых объектов методом конечных элементов / Д. М. Шапиро, Н. Н. Мельничук // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 2. – С. 18–21.

143. Шмуклер В. С. Метод интегральных градиентов в оптимизационных задачах САПР / В. С. Шмуклер // Системы автоматизированного проектирования. – К. : Будівельник, 1989. – Вып. 6. – С. 56–62.

144. Шкодін М. М. Програмування та чисельні методи в розрахунках інженерних споруд : навчальний посібник / М. М. Шкодін, А. І. Моргун, А. С. Моргун. – К. : НМК ВО, 1992. – 208 с.

145. Янко К. О. До зміни напружено-деформованого стану лесо-вої основи пальового фундаменту, внаслідок її замокання / К. О. Янко, С. П. Школяр, В. А. Муха // Галузеве машинобудування, будівництво : збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету. – Полтава : ПНТУ, 2003. – Вип. 12. – С. 277–280.

146. Abovskiy N. P. Energy principle and its application for the creation of controlled structures / N. P. Abovskiy // Spatial structures in

new and renovation projects of Building and construction. Proceeding international congress ICSS – 98, June 22–26, Moscow. Russia, 1998. – P. 307–311.

147. Boyko I. P. Numerical modeling of the interaction between the building foundation and the base in the case of landslide-prone territories / I. P. Boyko, V. O. Sakharov, O. O. Areshkovych // Geotechnical Engineering in urban environments. Proc. XIV-th European Conf. on soil mechanics and geotechnical eng. – Madrid, 2007. – Vol. 2.

148. Drucker D. C. Soil mechanics and plastic analysis or limit design / D. C. Drucker, W. Prager // Quarterly Applied Mathematics. – 1952. – № 2. – P. 157–165.

149. Morgun A. Efforts redistribution in the "base–foundation–building" system with the taken into consideration of plasto-elastic soil base deformation / A. Morgun, I. Met // The Third International Congress and Exhibition fib Annual Convention & bridge conference ; proceedings disk, Washington DC, May 29 – June 2, 2010, Gaylord National Report

150. Robinson J. An evaluation of skew sensitivity of thirty three plate bending elements in nineteen FEM systems / J. Robinson // Nuclear Engineering and Design, Vol. 90, Issue 1, 3 November 1985. – P. 67–85.

151. Timoshenko S. P. Theorie des constructions / S. P. Timoshenko, D. H. Youn. – Paris. – 1949. – P. 412–416.

152. Melan E. Der Spannungszustand der durch eine Einzelkraft im innern beanspruchten Halbscheibe / E. Melan // Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. – 1932. – № 12. – P. 343–346.

153. Mindlin R. D. Force at a point in the interior of a semi-infinite solid space. Finite elements in plasticity: theory and Practice / R. D. Mindlin, D. Owen, E. Hinton. // Physics. – Svansia, U. K., 1936. – № 7. – P. 195–202.

*Наукове електронне видання
комбінованого використання.
Можна використовувати в локальному та мережному режимах*

**Меть Іван Миколайович
Моргун Алла Серафимівна**

**МОДЕЛЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ КАРКАСНИХ
БУДІВЕЛЬ З ОСНОВАМИ ТА ФУНДАМЕНТАМИ**
Монографія

Редактор С. Малішевська
Оригінал-макет підгот в в І. Меть

Підписано до виготовлення 22.04.2015 р.

Системні вимоги:
процесор Pentium; 512 Mb RAM;
Windows XP, 7, 8; Acrobat Reader 6.0.
Один електронний оптичний диск (CD-ROM); обсяг даних 7,0 Мб.
Наклад 300 (1-й запуск 1–30) прим. Зам. № E2015-01.

Видавець та виготовлювач – Вінницький національний технічний
університет, Комп'ютерний інформаційно-видавничий центр,
Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ, ГНК, к. 114,
м. Вінниця, 21021.
Тел.: (0432) 59-85-32, 59-81-59.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.