

КИЇВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ ТЕХНІЧНОЇ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису

ДІСЕРТУАЦІЯ

Олександр Олександрович

МОДЕЛІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
ТА ЇХНЯ ІДЕНТИФІКАЦІЯ

Спеціальність 05.23.01 - Будівельні конструкції,  
будівлі та споруди

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук



Київ - 1995

Дисертацією в рукописі  
Робота виконана  
згідно і проектною  
(КиївЕНДІЕП), м.Київ.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761685 (X)

Офіційна оцінка

1. Доктор технічних наук,  
професор Шагін Олександр Львович.
2. Доктор технічних наук,  
професор Дектяр Анатолій Соломонович.
3. Доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Перельмутер Анатолій Вікторович.

Провідна організація - Науково - дослідний інститут ав-  
томатизованих систем і управлін-  
ня в будівництві (НДІАСБ) Дер-  
жавного комітету України у спра-  
вах містобудування і архітекту-  
ри, м.Київ

Захист відбудеться 22 грудня 1995 р. о 13 годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.18.06 Київсь-  
кого державного технічного університету будівництва і архі-  
тектури за адресою : 252037, м.Київ, Повітрофлотський пр.,  
31.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського  
державного технічного університету будівництва і архітектури  
за адресою: 252037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий 16 листопада 1995 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми і ступінь дослідженості тематики дисертації. Забезпечити надійність і довготривалість, міцність та необхідні експлуатаційні якості будівельних конструкцій будинків та споруд можна лише шляхом ретельного дослідження їхнього напруженого і деформованого станів на стадіях розробки та проектування. Дослідження ці невід'ємно пов'язані із проблемою будування моделі, що адекватна об'єктові, який вивчається.

Модель (розрахункова або математична) - це комплекс, який містить в собі розрахункову схему об'єкту досліджень, апарат механіки, який пов'язує зовнішні діяння з структурними і жорсткісними характеристиками об'єкту та дозволяє знайти параметри його напруженого і деформованого станів, і технічні засоби, що реалізують цей апарат (наприклад, проблемне математичне забезпечення ЕОМ). Всі ці елементи тісно взаємодіють як при будуванні моделі, так і у дослідженнях.

Невід'ємний етап досліджень - експеримент, що оперує фізичною моделлю об'єкту. Особливо важлива роль експерименту у дослідженнях складних систем - будівель та споруд, що складені із численних різномірних елементів, які сприймають різні види зусиль при деформаціях споруди в цілому.

Очевидна необхідність тісної взаємодії методів математичного моделювання з експериментальними дослідженнями. Априорна модель, що узагальнює досвід та інтуїцію дослідника, служить за основу експерименту. Під час експерименту модель поліпшується, збагачується експериментальною інформацією і, врешті, завершує дослідження апостеріорна модель, яка узагальнює всю інформацію про об'єкт.

На останньому етапі досліджень вирішується задача ідентифікації, тобто вибудова оптимальної у певному сенсі моделі за виниками спостережень вхідних та вихідних змінних системи, що досліджується. При цьому у випадку досліджень буди-

вельних конструкцій, коли достатньо велика апріорна інформація, вирішується задача ідентифікації у вузькому розумінні - оцінювання параметрів моделі заданої структури за вхідними і вихідними сигналами об'єкту досліджень, тобто параметрична ідентифікація.

До особливо складних об'єктів будівництва можуть бути віднесені будівлі та споруди, що зводяться на просідаючих ґрунтах та територіях, що підроблюються, тобто у складних інженерно-геологічних умовах, які є характерними для більшої частини України (лише просідаючими ґрунтами складено більш ніж 70% її території). Існуючі методи розрахунку і дослідження таких споруд не враховують повною мірою особливості взаємодії споруди з основою, дійсні деформативність споруди і розподіл зусиль в її елементах при дії нерівномірних деформацій основ. Тому, вельми актуальною стає проблема розробки моделей і методів досліджень об'єктів масового будівництва в Україні - багатопверхових житлових будинків, що зводяться у складних інженерно-геологічних умовах.

Мета і основні завдання наукового дослідження. Мета роботи - створення загального методу моделювання будівельних конструкцій, будівель та споруд при дії статичних навантажень на базі синтезу експериментальних та теоретичних джерел інформації та удосконалення на його підставі моделей конструкцій багатопверхових будівель, що зводяться у складних інженерно-геологічних умовах.

Досягнення зазначеної мети здійснюється розв'язанням таких основних задач:

- дослідження експериментального та теоретичного підходів до моделювання складних будівельних конструкцій;
- аналіз помилок, які виникають на різних етапах моделювання;
- формалізація зв'язку між експериментальними та теоретичними моделями;
- розробка детермінованих, імітаційних та комбінованих моделей конструкцій та алгоритмів їхньої реалізації на ЕОМ;
- аналіз методів ідентифікації та умов їхнього застосування у задачах моделювання будівельних конструкцій;
- чисельні дослідження складних будівельних конструкцій

за допомогою запропонованих моделей.

Методи досліджень. У теоретичних та чисельних дослідженнях, яких виконано у роботі, використано загальні методи механіки твердого деформованого тіла (у тому числі, метод скінченних елементів), методи ітерацій та послідовних навантажень, метод найменших квадратів та узагальнений метод найменших квадратів.

Особистий внесок дисертанта у розробку наукових результатів. На захист виносяться:

- загальний метод моделювання складних будівельних конструкцій, будівель та споруд при дії статичних навантажень, підставою якого є синтез експериментальних та теоретичних джерел інформації;

- запропоновані детерміновані, імітаційні та комбіновані моделі складних будівельних конструкцій;

- методика розрахунку багатопверхових будинків при дії нерівномірних деформацій основ;

- методика оцінювання параметрів взаємодії споруд з основами за результатами експериментальних спостережень деформацій споруди.

Обґрунтування теоретичної і практичної цінності досліджень та їхньої наукової новизни. Наукова новизна і теоретичне значення результатів роботи полягають в тому, що:

- завдання моделювання складних будівельних конструкцій, будівель та споруд сформульовано як комплекс експериментальних та теоретичних джерел інформації;

- запропоновано універсальний алгоритм побудови комбінованих моделей складних будівельних конструкцій;

- з метою зменшення впливу систематичних помилок при інтерпретації експериментальних даних запропоновано методику введення апріорі невідомих параметрів, які згодом послужили причиною неугодження результатів експерименту та апріорної моделі;

- запропоновано методику оцінювання силових та жорсткісних параметрів моделі, які недоступні безпосередньому вимірюванню в ході експерименту;

- розроблено методику перевірки адекватності комбінованої моделі;

- розроблено методику оцінювання параметрів реактивного відпору природних основ по деформаціях взаємної частини спори, які реєструються в експерименті;

- запропоновано детерміновані моделі складних конструкцій різного виду, у тому числі багатопверхових будинків, що споруджуються в складних інженерно-геологічних умовах;

- розроблено методику імітаційного моделювання залізобетонних конотрукцій, що враховує випадковий характер розподілу властивостей матеріалу в конструкції.

Достовірність запропонованих методик та висновків, яких зроблено на підставі виконаних досліджень, підтверджується використанням загальноприйнятих теоретичних передумов і не спростовується результатами відомих експериментальних досліджень.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

- запропоновано методику моделювання складних будівельних конструкцій;

- запропоновано моделі залізобетонних конструкцій, які враховують перерозподіл зусиль на усіх стадіях навантаження;

- розроблено моделі багатопверхових будинків, що зводяться в складних інженерно-геологічних умовах;

- запропоновані моделі і методи розрахунку реалізовані в алгоритмах и програмах для ЕОМ, що забезпечує їхнє практичне використання.

Рівень реалізації, впровадження наукових розробок. Результати роботи, запропоновані моделі і методи їхнього аналізу впроваджені в інститутах Київський Промбудпроект, НДІБК, КиївЗНДІЕП та ін. при проектуванні каркасів промислових будівель та споруд, у тому числі бункерних естакад доменних цехів Карагандинського металургійного заводу і заводу Азовсталь, куполу Київського цирку і висячого покриття гаража діаметром 160 м в Києві, в експериментально-теоретичних дослідженнях збірних залізобетонних покриттів промислових будівель у вигляді коротких ребристих складок та оболонок шатрових та подвійної кривизни, при дослідженнях і проектуванні багатопверхових цивільних будівель, що зводяться в складних інженерно-геологічних умо-

вах у Донбасі, Волгодонську, Хабаровську та ін.

**А п р о б а ц і я р о б о т и .** Основні положення роботи доповідались на П'ятій всеосованій конференції "Экспериментальные исследования инженерных сооружений" (Таллінн, 1981), Восьмому науково-технічному семінарі "Надежность железобетонных конструкций" (Куйбишев, 1981), Сьомій координаційній нараді "Предельные состояния несущих систем высоких зданий и их элементов" (Таллінн, 1983), Дев'ятій координаційній нараді "Эффективные конструкции и методы расчета несущих систем, элементов и узлов бескаркасных зданий" (Вільнюс, 1984), нараді "Железобетонные пространственные конструкции в инженерных сооружениях" (Донецьк, 1984), Дев'ятому науково-технічному семінарі "Надежность строительных конструкций" (Куйбишев, 1985), Одинадцятій координаційній нараді "Конструктивные решения и методы расчета зданий комбинированной системы с учетом податливости поддерживающих конструкций и основания" (Кагань, 1985), Всесованій конференції "Проблемы численного моделирования и автоматизации проектирования инженерных конструкций" (Ленінград, 1986), Республіканській конференції "Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций и их внедрение в строительную практику" (Полтава, 1989), П'ятнадцятій нараді-семінарі "Автоматизация проектирования и исследований железобетонных конструкций многоэтажных зданий" (Львів, 1989) та ін.

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на Науково-технічній Раді КиївВДНІЕП (Київ, 1993, 1994), Раді будівельного факультету Донбаського горно-металургійного інституту (Алчевськ, 1994), Семінарі кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Харківського державного технічного університету будівництва і архітектури (Харків, 1995), Семінарі Науково-дослідного інституту автоматизованих систем і управління в будівництві (НДІАСБ, м.Київ, 1994), Спеціалізованому семінарі з будівельної механіки і будівельних конструкцій при Київському державному технічному університеті будівництва і архітектури (Київ, 1994, 1995).

**П у б л і к а ц і ї .** За темою дисертації опубліковано 92 праці. Основний її зміст викладено у 30 публікаціях.

**С т р у к т у р а і о б с я г р о б о т и .** Дисер-

татія складається з вступу, восьми розділів основного тексту, заключення і бібліографії і викладена на 322 сторінках машинописного тексту, у тому числі 244 сторінки основного тексту, 81 малюнок і 13 таблиць на 52 сторінках і бібліографія з 271 найменування на 26 сторінках.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертаційної роботи обґрунтовується актуальність теми, викладаються загальна характеристика роботи, її мета, наукова новизна, практичне значення та відомості про використання отриманих результатів.

Перший розділ присвячено експериментальним дослідженням напруженого і деформованого стану складних будівельних конструкцій, будинків та споруд. Загальні проблеми експерименту як джерела інформації, методів фізичного моделювання та інтерпретації результатів експерименту розглянуто в працях П.П.Алабужева, Дж.Ф.Велла, Л.Бріллоена, М.В.Кирпичева, В.М.Мастаченко, В.В.Налимова, О.Г.Назарова, Л.Л.Седова, О.Г.Ивахненко, Ю.В.Кемниця, Г.Хоссдорфа, П.Е.Ельясберга та ін.

Показано, що експеримент, який лишається головним критерієм вірогідності теоретичних побудовань, повністю багатується на апріорних уявленнях дослідника про роботу конструкції (апріорній моделі).

Розглянуто випадковий характер результатів експерименту та введено поняття експериментальної реалізації (ЕР) об'єкту досліджень.

На прикладах конкретних досліджень різноманітних будівельних конструкцій (оболонки, багатопверхові панельні будинки, елементи каркасів промислових споруд та ін.) проаналізовано основні помилки експерименту і інтерпретації його результатів, а саме:

- помилки вимірювань;
- помилки, що викликані надмірною або необґрунтованою ідеалізацією вихідного об'єкту досліджень, граничних умов, в'язів, навантажень та інше;
- помилки, що пов'язані з відсутністю або недостатньою суворістю і докладністю апріорної моделі;

- помилки, що пов'язані з обмеженим обсягом вибірок або дослідженням одиничної експериментальної реалізації;

- помилки інтерпретації результатів експерименту, що виникають внаслідок недостатнього обсягу вимірювань або їхнього квантування;

- помилки, які виникають внаслідок відсутності у моделі однозначних розрахункових аналогів вимірювань.

Показано, що визначення кількісних значень параметрів моделі за результатами експерименту належить до категорії некоректних задач і може бути виконане лише за допомогою спеціальних методів аналізу.

У другому розділі класифіковано види моделей у залежності від обліку в них випадкового характеру явищ, що описуються, (індетерміновані, стохастичні, детерміновані), та розглянуто як основні й найбільш поширені детерміновані моделі будівельних конструкцій.

Показано зв'язок моделей пружних систем і рівень їхньої ідеалізації з методами механіки, що використовуються, і доступними технічними засобами, які реалізують ці методи. Найбільш універсальними визнано моделі методу скінченних елементів (О.Зенкевич, Л.О.Розін, Г.Стрент та ін.), якого реалізовано в багатьох програмних комплексах (ЛІРА, ПРОКРУСТ, РЯД-89 та ін.), що знаходять широке застосування у проектній та дослідній практиці.

Розглянуто особливості роботи залізобетонних конструкцій, пов'язані із тріщиноутворенням і розвитком непружних деформацій в елементах конструкції, та головні алгоритми їхнього розрахунку (методи ітерацій, послідовних навантажень, початкових напружень і деформацій), що дозволяють будувати модель конструкції для різних рівнів її навантаження. На прикладі залізобетонної двовітової колони, яку можна розглядати як загальний приклад статично невизначеної стержневої конструкції, показано модель, що заснована на методі послідовних наближень і дозволяє докладно досліджувати поведінку конструкції при різноманітних видах навантажень, у тому числі з урахуванням передісторії навантажень.

Розроблено спрощений підхід до моделювання залізобетонних конструкцій, якого засновано на поданні бетону і сталі як пружно-пластичних матеріалів з обмеженою площадкою теку-

чості. Алгоритм будується як рекурентна послідовність лінійно-пружних рішень, на кожному кроці яких визначається можливий рівень підвищення навантажень до переходу чергового скінченного елемента в стан пластичності або руйнування.

Запропоновано умови міцності (пластичності) скінчених елементів, що моделюють бетон, який знаходиться в плоскому напруженому стані, і засновані на експериментальних дослідженнях О.Я.Вєрга, В.Гєнрі, Г.В.Купфєра, Дж.Ліанка та ін.

При дії розтягуючих напружень вихід на межу області міцності прийнято як критерій крихкого руйнування даного елемента (утворення тріщини) і цей скінчений елемент вилучається із роботи на наступних етапах розрахунку.

При двохосовому тиску вихід на межу області міцності (пластичності) характеризує перехід скінченного елемента, який моделює бетон, в пластичну стадію. Наближено прийнято, що під час текучості реакції скінченного елемента лишаються постійними до моменту руйнування, яке настає, коли октаєдричні деформації зсуву в даному скінченному елементі досягають граничних значень.

Загальна схема алгоритму будується на багатократному розрахунку пружної системи, структура якої змінюється, на кожному етапі якого із матриці жорсткості системи в цілому вилучаються елементи, що належать до матриць жорсткості окремих скінчених елементів, які змінюють свій стан. При цьому корегуються і вектор правих частин, в який мають бути введені реакції елементів, що увійшли в стан текучості. Враховуючи, що дія реакцій постійна, на відміну від зростаючого зовнішнього навантаження, розрахунок провадиться негалежно для дії реакцій і дії зовнішнього навантаження.

Як критерій руйнування системи в цілому прийнято реалізацію однієї з наступних умов:

- крихке руйнування бетону в одному з скінчених елементів при тиску;
- розрив арматури;
- перетворення системи в кінематичний механізм внаслідок накопичення місцевих руйнувань та розвитку пластичних деформацій.

Прийнята найпростіша індикаторна діаграма деформування дозволяє описати нелінійну роботу об'єкту в цілому. Окремі

поступові руйнування елементів, які моделюють утворення тріщин або зон пластичності, спричиняють до переломів на графіку, що характеризує загальну схему деформування конструкції.

Роботу запропонованого алгоритму перевірено на прикладі чисельного дослідження стінової панелі багатопверхового будинку, який зазнає дії нерівномірних деформацій основ.

Розглянуто проблему перевірки адекватності детермінованої моделі. Показано, що крім традиційного інженерного підходу, який не має кількісних критеріїв, - вибіркового порівняння результатів розрахунку та експерименту, можна аналізувати вектор відхилень - помилок EP. При цьому, якщо елементи цього вектору незалежні і мають нульове середнє, їх можна розглядати як присутній в експерименті шум і гіпотеза про адекватність моделі не може бути відкинута.

Проте, така перевірка не дозволяє уникнути певного свавілля. Одній EP у залежності від обраних критеріїв може відповідати ціла низка "адекватних" моделей. Особливо важливою стає ця проблема із збільшенням складності систем і моделей, які вивчають.

На практиці, проте, в умовах розумного підходу до будівництва EP і чіткого формулювання мети експерименту апріорна модель ймовірно виявиться неадекватною. Серед джерел, які викликали цю неадекватність, слід відзначити неминучу ідеалізацію вихідного об'єкту при будівнанні моделі. Виникає дилема - неадекватна структура моделі або неадекватні параметри, яких було прийнято для описування EP.

Перша ситуація практично безнадійна. При побудованні апріорної моделі було використано весь приступний дослідникові обсяг теоретичних знань. Зміна структури моделі потребує їхнього розширення, тобто глибшого вивчення теоретичних засад природи явищ, які досліджуються. Експеримент такої інформації дати не може.

Доцільно звернутися до альтернативи - структура моделі вірна, але прийняті параметри не відповідають умовам експерименту. У такому випадку треба визначити параметри, які ймовірно викликали розбіжність моделі і EP.

Такими параметрами можуть бути, наприклад, силові діяння на конструкцію і жорсткісні характеристики її елементів. Визначити ці параметри можна за результатами експерименту,

проте, оскільки остатні є випадковими величинами, модель не лишиться детермінованою.

Третій розділ присвячено моделям багатопверхових будинків, які зводяться в складних інженерно-геологічних умовах. Актуальність цієї проблеми обумовлена розповсюдженням цих умов в Україні, де вони проявляються на більш ніж половині території.

Складність описування роботи багатопверхового будинку, який являє собою просторову пластинчато-стержньову систему, що працює у взаємодії з основою, яка деформується нелінійно, викликала появу різноманітних методів розрахунку (праці П.Ф.Дроздова, С.М.Клепікова, Б.О.Косіцина, Ю.І.Немчинова, П.П.Шагіна та ін.), яких збудовано на різних моделях і припущеннях і які часто суперечать одне одному. У цих моделях враховуються нарізно (або не враховуються взагалі) такі істотні фактори, як нелінійні деформації основ, податливість стиків, просторовий характер роботи коробки будинку та ін.

Складність розрахунку багатопверхового будинку на дію вимушених деформацій основ пов'язана передусім з необхідністю вирішення суто нелінійної задачі взаємодії будівлі з основою, що потребує багаторазових розрахунків шаговими або ітераційними методами, на кожному етапі яких треба розв'язувати великі системи алгебраїчних рівнянь, які описують роботу взаємних конструкцій споруди і порядок яких може обчислюватися сотнями тисяч. Тому доцільно загальну задачу побудування моделі і розрахунку розділити на два етапи:

- задачу визначення власне взаємодії споруди з основами, результатом вирішення якої є осідання споруди і параметри реактивного відпору основи;

- задачу визначення параметрів напруженого і деформованого станів конструкцій споруди.

Для вирішення першої задачі серед багатьох моделей основ, які розроблено в працях М.І.Горбунова-Посадова, С.М.Клепікова, А.Д.Керра, Дж.У.Е.Мілігана, О.О.Мустафазва та ін., вибрано гіперболічну залежність, яку запропоновано С.М.Клепіковим, з лінійним законом деформування основи при розвантаженні.

Викликані осіданням або підрубкою переміщення поверхні основи характеризуються вимушеними деформаціями  $s_i$  в точках

і контакту споруди з основою.

Тоді, якщо припустити, що структурні та жорсткісні параметри споруди найбільш повно визначаються матрицею жорсткості  $G$ , яку сформовано відносно ступенів свободи, що відповідають вертикальним переміщенням в точках і контакту споруди з основою, можна записати рівняння рівноваги

$$(G + K) Z = Q + R,$$

де  $Z = \{ z_i \}$  - вектор невідомих переміщень вузлів  $i$ ;

$K = \text{diag} \{ k_i f_i \}$ ;  $Q = \{ q_i \}$ ;  $R = \{ k_i f_i s_i \}$ ;

$k_i = p_i / w_i$  - січна жорсткість основи в точці  $i$ ;

$f_i$  та  $q_i$  - відповідно площа підшви фундаменту і навантаження в точці  $i$ .

Рішення такої суттєво нелінійної задачі виконується методом послідовних навантажень (послідовного збільшення вимушених деформацій  $s$ ), на кожному етапі яких з урахуванням розрахункової ситуації (активне навантаження, розвантаження, відсутність контакту споруди з основою) методом ітерацій уточнюється січна жорсткість основи  $k_i$ .

Запропонований алгоритм, який значно спрощує пошук рішення завдяки відокремленню нелінійної задачі взаємодії споруди з основою від задачі аналізу напруженого та деформованого станів споруди, реалізовано у програмах ШТАМП та СПЛЕНД, які знайшли застосування при проектуванні та дослідженнях низки будинків, що зводяться у складних інженерно-геологічних умовах.

Для опису моделі багатопверхового будинку запропоновано використовувати багаторівневу ієрархічну систему суперелементів. За суперелементи першого рівня правлять скінченно-елементні моделі конструктивних елементів одного поверху, тобто панелей стін та перекрить. Із цих суперелементів можна зібрати суперелемент другого рівня - поверх будинку. Послідовно нарощуючи поверховість суперелементу (або подвоюючи його), можна одержати суперелементи третього, четвертого та ін. рівней, які після об'єднання з суперелементом, що моделює цоколь та фундаменти будинку, утворюють повну модель споруди.

Така модель має певні переваги у порівнянні з традицій-

ними моделями методу скінченних елементів. Передусім, очевидна простота послідовного нарощування складності моделі шляхом об'єднання матриць жорсткості суперелементів нижчого рівня, порядок яких лишається незмінним.

Оскільки процедура складання моделі на всіх етапах ідентична, заключний етап - одержання моделі будинку в цілому не відрізняється від формування суперелементів більш низького рівня. Автоматично можна також одержати матрицю жорсткості  $G$ , яка необхідна для вирішення задачі про взаємодію споруди з основою.

Суперелементний підхід до побудування моделей багатопверхових будинків дозволяє створити бібліотеку матриць жорсткості суперелементів, які моделюють типові конструктивні елементи будинку, або програмних модулів, які формують ці матриці. Складання моделі, в цьому випадку, зводиться до компонування ансамблю стандартних суперелементів.

Чисельні дослідження багатопверхових будинків, які знаходяться під дією вимушених деформацій основи, дозволили з'ясувати вплив різних факторів на роботу споруди, а також помилки, які виникають при використанні інших спрощених моделей (наприклад, балочних).

Перед усім показано важливу роль, яку відіграють міжповерхові перекриття в розподілі зусиль між конструкціями будинку. Утворюючи пояси, конструкції перекриття протидіють поперечним деформаціям стінових панелей під дією вертикальних навантажень. Розмір цього опору залежить від площі перекриття, що враховується у розрахунках. При цьому зусилля, що виникають в стінових панелях від вертикального тиску при обмежених горизонтальних деформаціях, можуть бути сумірними з зусиллями, які виникають при нерівномірних деформаціях основ.

Розглянуто вплив помилок моделювання окремих елементів і вузлів споруди на розподіл та величину внутрішніх зусиль в моделі. Між іншим, помилкові моделі швів між стіновими панелями можуть призвести до повного спотворення характеру напруженого стану в простінках панелей.

Показано, що найбільш поширені на практиці балочні моделі багатопверхових будинків неадекватно описують роботу конструкції і не можуть бути застосовані для досліджень.

Удосконалення розрахункових моделей будинків та споруд, які взаємодіють з основами, що деформуються нерівномірно, може бути виконано лише за виниками комплексних експериментально-теоретичних досліджень.

В четвертому розділі розглянуто імітаційні моделі будівельних конструкцій. Запропоновані імітаційні моделі, яких засновано на багаторазовому відтворенні поведінки конструкції під навантаженням з імітацією випадкових діянь та наступній статистичній обробці одержаних даних, дозволяють оцінювати шукані показники як статистичні характеристики за даними великої кількості реалізацій. Імітаційна модель - це суто математичний інструмент, засіб одержання інформації для теоретичних узагальнень. Відомий принцип зовнішнього доповнення С.Віра в імітаційних моделях реалізовано чисельним генеруванням ефекту випадковості. Таким чином можна одержувати на ЕОМ "експериментальну" інформацію, яка є необхідною для будування опрощених моделей та методів їхнього розрахунку. Методам імітаційного моделювання та їхнього практичного застосування присвячено праці М.П.Бусленко, В.М.Бусленко, Ф.Длугера, Дж.Клейнена, П.Е.Роельфотра, С.Тані, Т.Хісада, Р.Шеннона та ін.

Розроблено імітаційну модель залізобетонної конструкції, що знаходиться у плоскому напруженому стані. Для вирішення задачі використано запропонований підхід до моделювання залізобетону, як пружньо-пластичного матеріалу з обмеженою плошадкою текучості, методом скінченних елементів і апарат моделювання випадкових полів та векторів.

За випадковий фактор, який варіюється, обрано кубикову міцність бетону, розподіл якої по поле конструкції визначається дисперсією, яку можна знайти в залежності від коефіцієнта варіації, що нормується, і кореляційною функцією, яку прийнято у простішому вигляді:

$$\rho = \exp(-\alpha |r_{ij}|),$$

де  $\alpha$  - масштабний коефіцієнт ;

$r_{ij}$  - відстань між центрами скінченних елементів  $i$  та  $j$ .

Тоді, реалізації кубикової міцності в окремих скінченних елементах

$$R = \{ R_i \} = C \eta + | R'R' \dots R' |^T,$$

де  $\eta$  - вектор нормально розподілених величин, які генеруються датчиком випадкових чисел  $N(0,1)$ ;

$| R'R' \dots R' |^T$  - вектор, утворений номінальними значеннями кубикової міцності бетону  $R'$ ;

$C$  - допоміжна нижня трикутна матриця, яка визначається матрицею нормованих коефіцієнтів кореляції.

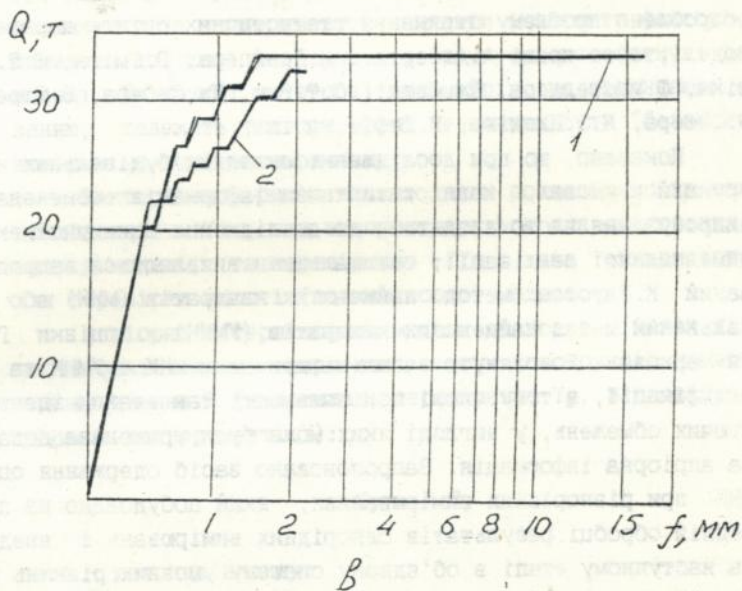
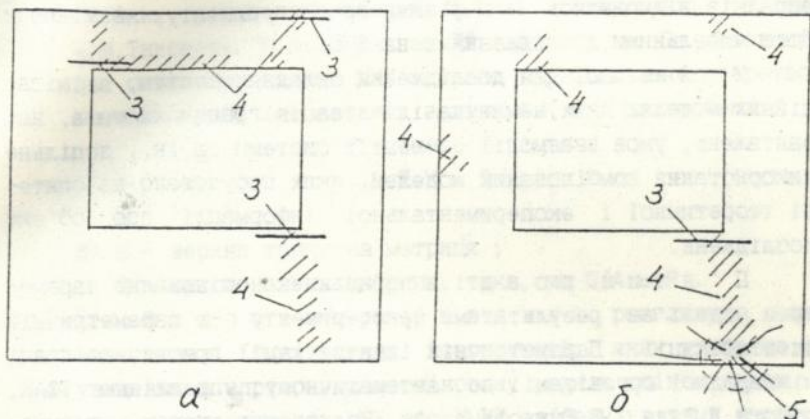
Запропоновано величину коефіцієнту кореляції обмежувати одержаним критерієм, який забезпечує додатню визначеність кореляційних матриць та працездатність алгоритму.

Такі характеристики бетону, як модуль пружності, приримова міцність та опір осьовому розтягуванню прийнято залежними від кубикової міцності. Розсіяння їх значень від середніх враховується введенням адитивного білого шуму, який генерується датчиком випадкових чисел при заданому апіорі коефіцієнті кореляції між кубиковою міцністю і параметром, що визначається.

Таким чином, в імітаційній моделі розглядається нелінійна скінченноелементна модель залізобетонної конструкції, механічні характеристики елементів якої варіюються в кожній реалізації.

Запропонований апарат імітаційного моделювання залізобетонних конструкцій, які знаходяться у плоскому напруженому стані, реалізовано в програмі РАПСОДІЯ, що дозволило дослідити роботу стінової панелі багатопверхового будинку, який зазнає діяння нерівномірних осадок основи. Були отримані дані по 70 реалізаціях конструкції (деформації, тріщиноутворення, руйнування і величина граничного навантаження). Між іншим показано, що при однакових умовах навантаження ймовірними можуть бути як пластична, так і крихка (внаслідок роздрібнення бетону) схеми руйнування (мал.1). Цей факт ставить під сумнів вимоги ГОСТ 8829-85, які визначають потрібний коефіцієнт запасу в залежності від виду руйнування.

Імітаційне моделювання дозволяє не тільки докладно вивчати поведінку конструкції під навантаженням, але й у ряді



Мал.1. Імітаційна модель стінової панелі:

- а і б - відповідно пластичне та крихке руйнування панелі;
- в - залежність деформацій панелі  $f$  від навантаження  $Q$  при пластичному (1) і крихкому (2) руйнуванні.
- 3 - місця текучості арматури; 4 - зони тріщиноутворення;
- 5 - руйнування бетону від стиску

випадків відмовитись від фізичного експерименту, замінюючи його чисельними дослідженнями на ЕОМ.

У той же час, для дослідження складних систем, в імітаційних моделях яких неминуча ідеалізація граничних умов, навантажень, умов взаємодії елементів системи та ін., доцільне використання комбінованих моделей, яких побудовано на синтезі теоретичної і експериментальної інформації про об'єкт досліджень.

П'ятий розділ присвячено оцінюванню параметрів моделі за результатами експерименту - параметричній ідентифікації. Параметричній ідентифікації присвячено праці міжнародної організації по автоматичному управлінню ІФАК, роботи Л.Заде, П.Ейкхофа та ін. Враховуючи апарат, що використовується до оцінювання, слід вказати й роботи, у яких розроблено проблему отримання статистичних оцінок параметрів моделі, тобто праці А.Алберта, Н.Дрейпера, Г.Сміта, Ю.В.Лінніка, Ф.Мостеллера, Дж.Тьюкі, С.Р.Рао, Дж.Себера, В.Стрейча, Р.Фишера, Я.В.Ципкіна, Г.Шеффе та ін.

Показано, що при дослідженні складних будівельних конструкцій в умовах, коли статистична інформація обмежена, а випробування часто зводяться до дослідження одиначної експериментальної реалізації, оптимальними виявляються запропонований К.Гауссом метод найменших квадратів (МНК) або узагальнений метод найменших квадратів (УМНК) - оцінки Гаусса-Маркова. Розглянуто загальні принципи МНК і УМНК та їхні модифікації, в тому числі при наявності так званих ідентифікуючих обмежень, у вигляді яких може бути урахована додаткова апріорна інформація. Запропоновано засіб одержання оцінок МНК при різнорідних вимірюваннях, який побудовано на попередній обробці результатів однорідних вимірювань і введенні на наступному етапі в об'єднану систему умовних рівнянь нормуючої коваріаційної матриці

$$K = \text{diag} \{ \hat{\sigma}_i^2 \},$$

елементами якої є оцінки дисперсій шуму  $\hat{\sigma}_i^2$  в кожній групі вимірювань, яких знайдено на першому етапі оцінювання.

Чисельна реалізація МНК ускладнена поганою обумовленістю матриць систем нормальних рівнянь. Проблеми отримання

стійких рішень присвячені праці І. Лоусона, Р. Хенсона, А. М. Тихонова, В. Я. Арсеніна, Дж. Райса та ін. За основний апарат отримання оцінок МНК обрано ортогональне перетворення Хаусхольдера, яке зводить задачу  $A X = Y$  до системи

$$R X = Q Y,$$

де  $R$  - верхня трикутна матриця ;

$Q$  - ортогональна матриця, така, що  $Q A = R$ .

В шостому розділі розглянуто комбіновані моделі будівельних конструкцій, яких утворено шляхом введення в апріорну детерміновану модель оцінок низьки параметрів, що одержані МНК або УМНК за результатами експерименту. Ці параметри перш за все дозволяють узгодити результати розрахунку та експерименту, виявити і оцінити фактори, які призвели до їхньої розбіжності, усунути систематичні помилки моделі. До другої категорії параметрів, що підлягають оцінюванню, належать фактори, які не можуть бути безпосередньо виміряні в ході експерименту.

Вектори експериментальних даних розподілено на навчаючу послідовність  $Y_0$ , яка використовується для оцінювання параметрів моделі, та перевірочну -  $Y_p$ , яка використовується для перевірки якості (адекватності) моделі.

Апріорна детермінована модель дозволяє у межах лінійної постановки задачі виражати відгук конструкції на зовнішні силові діяння  $P$  (наприклад, переміщення  $Y_p$ , відповідні знайдені в експерименті  $Y$ ):

$$Y_p = A P,$$

де  $A$  - матриця впливу.

При цьому  $Y_p \neq Y$ , або

$$Y = Y_p + \varepsilon,$$

де  $\varepsilon$  - вектор помилок.

Якщо  $E(\varepsilon) = 0$  ( $\varepsilon \sim N(0, I_6^2)$ ), вектор  $\varepsilon$  являє собою шум, флуктуації експерименту, помилки вимірювань та ін. і сумнівів в апріорній детермінованій моделі не виникає.

Але, якщо  $E(\varepsilon) \neq 0$  (помилки мають зміщення), необхідно признати априорну модель неадекватною.

Причину розбіжності можна шукати перш за все в наявності силових факторів (параметри стану), яких не було враховано в априорній моделі, і по-друге, в помилковому визначенні жорсткості елементів системи (власне параметри моделі).

В першому випадку задача приймає вигляд

$$Y = Y_p + B X + \varepsilon,$$

де  $X$  - вектор невідомих сил;

$B$  - матриця впливу, яку можна побудувати з допомогою априорної моделі.

До вирішення такої задачі можна застосувати методи параметричної ідентифікації (МНК, УМНК та ін.).

Сформовано умовні рівняння для отримання оцінок силових параметрів  $X$

$$\begin{vmatrix} : & 0 \\ W & : \dots \\ : & -I \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X \\ \dots \\ X_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Y_0 \\ \dots \\ 0_1 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} W_{p1} \\ \dots \\ W_{p2} \end{vmatrix},$$

де  $W = \begin{vmatrix} W_1 \\ \dots \\ W_2 \end{vmatrix}$  -  $m \times n$ -матриця переміщень в напрямку вимірювань  $y_i$  від сил  $X_j - 1$ ;

$W_1$  та  $W_2$  -  $z \times n$ - та  $(m - z) \times n$ -блоки матриці  $W$ ;

$W_{p1}$  та  $W_{p2}$  -  $z$ - та  $(m - z)$ -вектори тих самих переміщень від зовнішніх навантажень;

$X$  -  $n$ -вектор невідомих сил  $X_j$ ;

$X_n$  -  $(m - z)$ -вектор розрахункових аналогів вимірювань перевірконої послідовності  $Y_n$ ;

$Y_0$  -  $z$ -вектор вимірювань, які увійшли у навчальну послідовність;

$0$  - нульова  $z \times (m - z)$ -матриця;

$I$  - одинична  $(m - z) \times (m - z)$ -матриця;

$0_1$  - нульовий  $(m - z)$ -вектор.

Структура умовних рівнянь, які включають великий нульовий блок  $0$ , визначає послідовність отримання рішення. Перш

за все знаходяться МНК оцінки  $X$

$$\hat{X} = (W_1^T K_0^{-1} W_1)^{-1} K_0^{-1} W_1^T (Y_0 - W_p)$$

та

$$\text{cov } \hat{X} = (W_1^T K_0^{-1} W_1)^{-1}$$

і лише потім

$$\hat{X}_n = W_{p2} + W_2 \hat{X}$$

та

$$\text{cov } \hat{X}_n = W_2 (W_1^T K_0^{-1} W_1)^{-1} W_2^T,$$

де  $K_0$  - коваріаційна матриця вектору  $Y_0$ .

На якість оцінок суттєво впливає додаткова апріорна інформація, яка ураховується у ідентифікуючих обмеженнях, якими можуть бути доповнені системи умовних рівнянь.

Показано, що змінення основної системи формально не впливає на величини оцінок. Проте, змінюються розміри матриць та їхня обумовленість, що суттєво впливає на трудомісткість обчислювань і, як наслідок, на точність рішення.

Сформульовано умовні рівняння для отримання оцінок параметрів жорсткості елементів системи. В цьому випадку, параметри, що оцінюються, входять у склад елементів матриць  $A$  і  $B$ , задача суттєво ускладнюється і тому вирішується двома етапами, на першому з яких знаходяться оцінки переміщень вузлів, які розташовані на контакті системи з зоною, жорсткість якої оцінюється. На другому етапі оцінюються обумовлені коефіцієнти пропорційності до базових значень жорсткості зони. Проте, показано, що некоректність задачі, імовірність виникнення суттєвих помилок та трудомісткість отримання рішень роблять цей підхід нерациональним для практичного використання. Доцільно шукати оцінки силових факторів, які характеризують взаємодію системи з зоною, а потім докладно аналізувати напружений і деформований стани зони.

Запропоновано методику перевірки адекватності отриманої комбінованої моделі. При цьому вирішуються дві задачі. По-перше, перевіряються апріорні передумови відносно розподілу завод (помилки) та їхнє середнє. По-друге, порівнюються оцінки елементів перевіркової послідовності  $X_n$

а результатами експерименту  $Y_n$ .

З урахуванням структури умовних рівнянь умова  $\hat{X}_n = Y_n$  у випадку адекватної моделі призводить до системи рівностей

$$W_2 \hat{X} = Y_n - Wp_2$$

яких можна розглядати як лінійні ідентифікуючі обмеження в системі умовних рівнянь.

Тоді задача перевірки адекватності моделі отримує вигляд: перевірити гіпотезу

$$H : W_2 \hat{X} = Y_n - Wp_2$$

для моделі

$$W_1 X = Y_0 - Wp_1 + e$$

де  $e$  - вектор нев'язок.

Вирішуючи задачу без урахування ідентифікуючих обмежень, якими є друга група умовних рівнянь, та з іним урахуванням, і отримуючи відповідні оцінки  $\hat{X}$  та  $\hat{X}_H$ , можна знайти суми квадратів нев'язок (остаточні суми квадратів)

$$RSS = (Y_1 - W_1 \hat{X})^T (Y_1 - W_1 \hat{X})$$

та

$$RSS_H = (Y_1 - W_1 \hat{X}_H)^T (Y_1 - W_1 \hat{X}_H)$$

і визначити по Дж.Себеру статистику

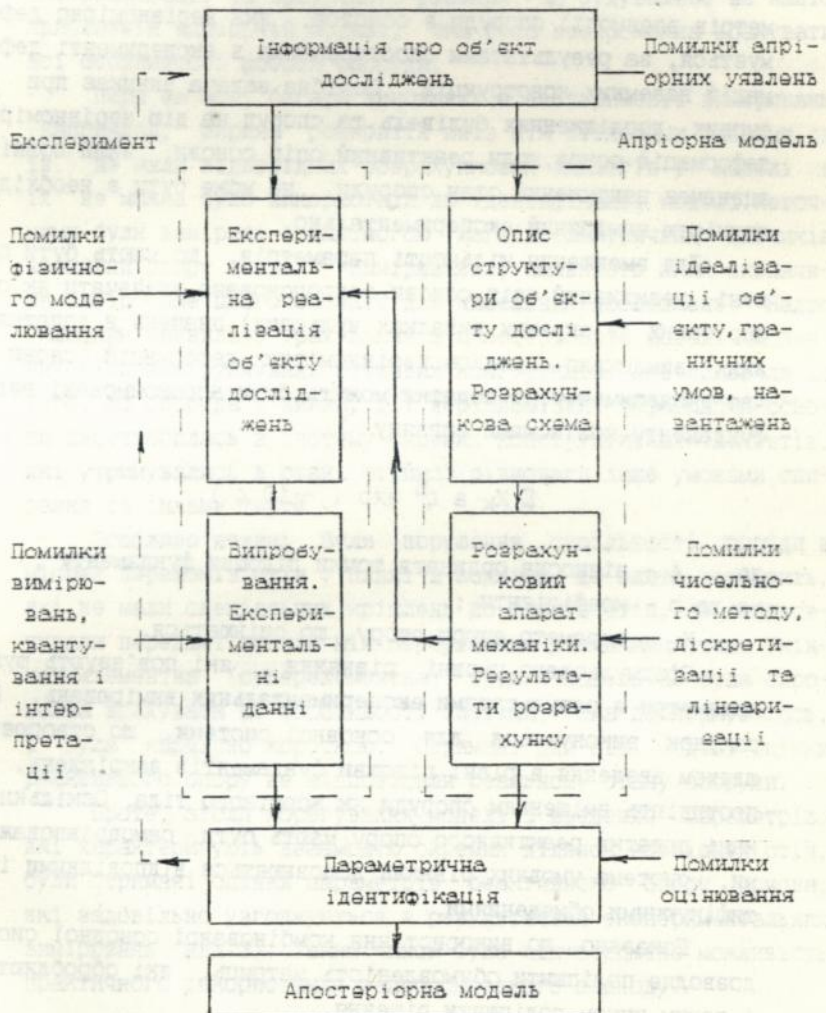
$$F = \frac{RSS_H - RSS}{RSS} \cdot \frac{z - n}{m - z}$$

яка має F-розподіл Фішера-Снедекора з  $m - z$  та  $z - n$  ступенями свободи.

Якщо гіпотеза  $H$  вірна, розраховане значення  $F$  має бути менше за  $F\alpha(k_1, k_2)$  для відповідного рівня значимості  $\alpha$  і ступенів свободи  $k_1$  та  $k_2$  і припущення про адекватність мо-

делі не може бути відкинута.

Аналогічний критерій адекватності побудовано для загального випадку рієнордних вимірювань.



Мал.2. Схема комплексних експериментально-теоретичних досліджень

Запропоновано загальний алгоритм експериментально-теоретичних досліджень складних будівельних конструкцій (мал.2), завершує які будівництва адекватної апостеріорної комбінованої моделі.

Сьомий розділ присвячено оцінюванню параметрів взаємодії споруди з основою, яка нерівномірно деформується, за результатами спостереження в експерименті деформацій взаємних конструкцій. Подібна задача виникає при натурних дослідженнях будівель та споруд на дію нерівномірних деформацій основ, коли реактивний опір основи, який повністю визначає напружений стан споруди, не може бути з необхідною точністю виміряний експериментально.

Для зменшення кількості параметрів, що мають бути оцінені, реактивний опір основи запропоновано визначати як суму апріорних (в окремих випадках нульових) значень з додатками, яких викликано проявом нерівномірних деформацій основи під час експерименту. Ці додатки можуть бути апроксимовані вдовж фундаменту поділками вигляду

$$\Sigma X_k a \zeta^b \exp(-10 \zeta),$$

де  $\zeta$  - відносна ордината точки підшви фундаменту ;  
а та b - коефіцієнти ;

$X_k$  - параметр епюри опору, що оцінюється.

Сформульовано умовні рівняння, які пов'язують шукані параметри з результатами експериментальних вимірювань. Розрахунок виконується для основної системи, що створюється шляхом введення в рівні підшви фундаментів закріплень, які протидіють зміщенням споруди як жорсткого тіла. Оскільки шукані додатки реактивного опору мають бути самоврівноваженими, система умовних рівнянь доповнюється відповідними ідентифікуючими обмеженнями.

Показано, що використання комбінованої основної системи дозволяє поліпшити обумовленість матриць, які обробляються, і таким чином поліпшити рішення.

Запропонований підхід ілюстровано докладним прикладом.

У восьмому розділі розроблений метод побудовання комбінованих моделей і оцінювання параметрів реактивного опору основи застосовано до досліджень конструкцій

п'ятиповерхового житлового будинку з великих бетонних блоків, натурні іспити якого провадили в м.Орджон кїдає Дніпропетровської області інститути КиївВНДІЕП, НДІЕК та ін.

Виявлено і проаналізовано низку помилок експериментальної реалізації та проектного рішення, що будувались на надто приближаній апріорній моделі, яка була неспроможна врахувати всі особливості роботи споруди.

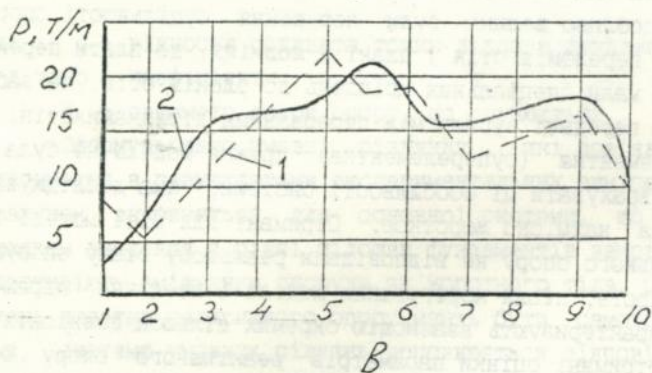
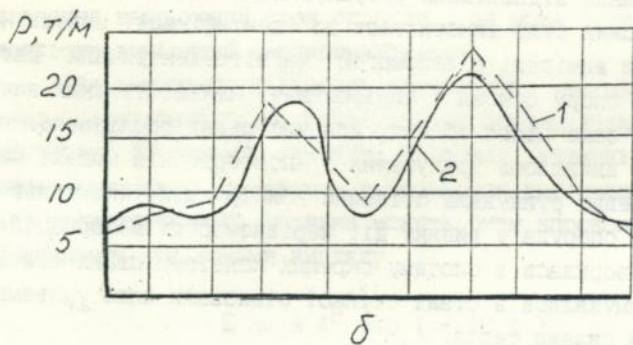
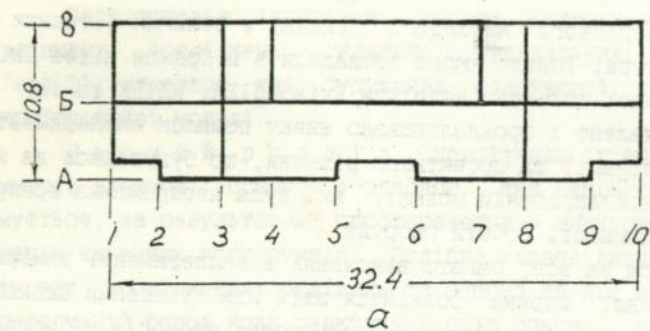
Перш за все, багато виконаних в експерименті вимірювань (наприклад, ширина розкриття швів між стіновими блоками та ін.) не мали відповідних розрахункових аналогів у моделі і їх не можна було використати до ідентифікації моделі. Неточними були виміряні з допомогою магнітоелектричних датчиків величини опору основи - вимірювання, наявність яких визначила вибір саме цього об'єкту для чисельних досліджень. Надто складним виявилось урахування в апостеріорній моделі численних місцевих руйнувань стінових конструкцій, які привели до того, що споруда у винику дії нерівномірних деформацій основи перетворилась в систему окремих конструктивних елементів, які утримувались в стані стійкої рівноваги лише умовами опирання та силами тертя.

Особливо великі були порушення суцільності споруди в місцях переломів стін у плані в лоджіях, де плити перекриття, які не мали спеціальних кріплень до блоків стін, не забезпечували передачі зусиль між перерваними ділянками стін. Скінченноелементна (суперелементна) пружна модель не була спроможна врахувати ці особливості системи, яка досліджувалась, і була надмірно жорсткою. Отримані для цієї моделі оцінки реактивного опору не відповідали реальному стану споруди.

Проте, після корегування моделі і введення параметрів, які характеризують взаємодію окремих ділянок зовнішніх стін, були отримані оцінки параметрів реактивного опору основи, які задовільно угоджуються з результатами експериментальних вимірювань (мал.3). Таким чином було підтверджено можливість практичного використання запропонованого підходу.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

1. Вирішено науково-технічну проблему синтезу експериментальної і теоретичної інформації та побудови на його ос-



Мал.3. Оцінювання реактивного опору основи під фундаментами п'ятиповерхового будинку:  
а - схема плану будинку; б і в - реактивний опір основи відповідно під стінами по осях А і В.  
1 - експеримент; 2 - розрахунок.

нові адекватних моделей складних будівельних конструкцій.

Універсальність запропонованого підходу, який не пов'язано з конкретним видом конструкцій, що досліджуються, і структурою апріорних моделей, базується на широкому застосуванні сучасних методів механіки та засобів обчислювальної техніки.

2. Розроблено метод оцінювання параметрів комбінованих моделей складних будівельних конструкцій, який дозволяє підвищити ефективність експерименту, зменшити вплив систематичних помилок, систематизувати процес інтерпретації його результатів, забезпечити отримання в результаті досліджень адекватної математичної моделі - носія найбільш повної інформації про об'єкт досліджень.

3. Показано, що експериментальні дослідження, які є необхідним джерелом інформації при вивченні складних будівельних конструкцій, а в багатьох випадках і головним критерієм вірогідності теоретичних положень, повністю базуються на апріорних моделях об'єкту досліджень, а їхні виники пов'язані з низкою помилок, яких систематизовано у роботі.

4. Ефективна детермінована модель поведінки залізобетонної конструкції на всіх стадіях навантаження може бути побудована на пружно-пластичній схемі деформування з обмеженням деформацій текучості. При цьому для опису роботи залізобетонної конструкції, яка знаходиться у плоскому напруженому стані, можна використовувати запропоновані алгоритм і критерії руйнування та міцності (пластичності).

5. При будівництві моделей багатопверхових будинків, які зводяться у складних інженерно-геологічних умовах та зазнають дії нерівномірних деформацій основ, доцільно розподілити задачу на два етапи:

- побудування скінченноелементної моделі будинку, як багаторівневої ієрархічної системи суперелементів;

- вирішення суто нелінійної задачі взаємодії споруди, модель якої подано її матрицею жорстості, з основою, що нерівномірно деформується.

6. Ефективним засобом дослідження складних залізобетонних конструкцій є запропонований апарат імітаційного моделювання, який засновано на сполученні розроблених алгоритмів детермінованого моделювання залізобетонних конструкцій та

методів моделювання випадкових полів, який дозволяє відтворити на ЕОМ випадковий характер виників експерименту, а інколи і замінити його.

7. Основним засобом визначення (оцінювання) параметрів комбінованої моделі, які є недосяжними для безпосереднього вимірювання в ході експерименту, є апарат параметричної ідентифікації. При цьому в умовах обмеженого обсягу або при повній відсутності апріорної інформації про природу і розподіл помилок використовується метод найменших квадратів та його модифікації.

8. Перевірка якості (адекватності) отриманої комбінованої апостеріорної моделі виконується шляхом аналізу вектору відхилень та остаточної сум квадратів, що знайдені з урахуванням ідентифікуючих обмежень у вигляді умов рівності вимірювань, яких включено в перевірочну послідовність, та оцінок їхніх розрахункових аналогів.

9. Запропонований підхід можна ефективно застосувати до вирішення задачі про взаємодію споруди з основою для оцінювання параметрів реактивного опору основ за виниками опосередковані в експерименті деформації наземної частини споруди.

10. Дослідження реального п'ятиповерхового будинку, який знаходиться під дією нерівномірних деформацій основи, дозволили підтвердити можливість практичного застосування запропонованих алгоритмів побудови комбінованих моделей, проаналізувати помилки експерименту та недоліки конструктивного рішення дослідженого будинку.

11. Вірогідність запропонованих методик та висновків, яких зроблено на основі проведених досліджень, підтверджується використанням загальноприйнятих теоретичних передумов і припущень при формуванні моделей і не спростовується результатами відомих експериментальних досліджень.

Основний зміст дисертації відображено в наступних публікаціях:

Монографія

1. Дыховичный А.А. Статически неопределимые железобетонные конструкции. - К.: Будівельник, 1978. - 108 с.

Брошюри

2. Дыховичный А.А., Давыдов В.С., Жемчужникова Л.Г. Ме-

тодические рекомендации по оцениванию параметров реактивного отпора естественных оснований по результатам эксперимента. - К.: КиевЗНИИЭП, 1987. - 32 с.

3. Шевелев В.В., Дыховичный А.А., Вишневецкий А.И., Ва-нах В.А. Методические рекомендации по применению программы расчета взаимодействия зданий и сооружений с нелинейно де-формируемым основанием. - К.: КиевЗНИИЭП, 1989. - 40 с.

Статті у наукових виданнях

4. Дыховичный А.А. Программа ДИСК-1 - аналитическая мо-дель двухветвевой колонны. - В кн. Исследования открытых кра-новых эстакад. - К.: Будівельник, 1966, с. 78-92.

5. Дыховичный А.А. Применение метода последовательных приближений к расчету статически неопределимых железобетон-ных конструкций. - В кн. Вычислительная и организационная техника, вып. II-1, М.: Гипротис, 1967, с. 32-35.

6. Дыховичный А.А., Кретов В.И. К расчету сборно-моно-литных конструкций за пределами упругости. - Строительное проектирование промышленных предприятий, №5, 1969, с. 43-45.

7. Дыховичный А.А., Грищенко И.В. К расчету статически неопределимых железобетонных конструкций. - Бетон и железобе-тон, № 3, 1970, с. 40-42.

8. Дыховичный А.А., Коба С.Д. Предельное равновесие же-лезобетонных ребристых складок. - Строительная механика и расчет сооружений, № 3, 1971, с. 63-64.

9. Дыховичный А.А., Грищенко И.В. Алгоритм расчета ста-тически неопределимых железобетонных конструкций с учетом нелинейной работы материала. - В кн. Сопротивление материалов и теория сооружений, вып. 16. - К.: Будівельник, 1972, с. 271-273.

10. Дыховичный А.А., Кретов В.И. Автоматизированная система исследования строительных конструкций на моделях. - В кн. Экспериментальные исследования инженерных сооружений. - К.: Будівельник, 1973, с. 153-156.

11. Михайлов В.А., Дыховичный А.А. Исследования прост-ранственных конструкций методами моделирования в НИИСК Госст-роя СССР. - В кн. Строительные конструкции, вып. 22. - К.: Бу-дівельник, 1973, с. 3-12.

12. Дыховичный А.А., Кретов В.И. К расчету сборно-моно-литных железобетонных покрытий в эксплуатационной стадии. -

Строительная механика и расчет сооружений, N 6, 1974, с. 11-14.

13. Дыховичный А.А., Кретов В.И. Комбинированные методы при исследовании конструкций на моделях.- В кн. Электроника и моделирование, вып.5.- К.: Наукова думка, 1975, с. 3-5.

14. Дыховичный А.А., Коба С.Д. Несущая способность железобетонных ребристых складок.- В кн. Пространственные конструкции зданий и сооружений, вып.2.- М.: Стройиздат, 1975, с. 76-80.

15. Дыховичный А.А. Моделирование и автоматизация исследований железобетонных конструкций.- В кн. Эффективные железобетонные конструкции.- К.: Будівельник, 1977, с. 101-105.

16. Дыховичный А.А., Вишневецкий А.И. Экспериментальные исследования упругих систем и математическое моделирование.- В кн. Сопротивление материалов и теория сооружений, вып.26.- К.: Будівельник, 1980, с. 107-110.

17. Дыховичный А.А., Вишневецкий А.И. К вопросу выбора основной системы при корректировке расчетных моделей по данным эксперимента.- ИВУЗ. Строительство и архитектура, N 2, 1980, с. 35-39.

18. Duhovichny A. Matematikai modellezés a szerkezetkutatásban.- Épitési, Kutatás, Fejlesztés, N 4, 1982 (Угорщина), s. 209-211.

19. Дыховичный А.А., Ярлыченко Ю.Е. Имитационное моделирование тонкостенных железобетонных конструкций.- В кн. Эффективные конструкции гражданских зданий.- К.: КиевЗНИИЭП, 1982, с. 50-54.

20. Дыховичный А.А., Жемчужникова Л.Г., Зима С.Г., Вишневецкий А.И. Соответствие расчетных моделей строительных конструкций экспериментальным данным.- В кн. Надежность и долговечность машин и сооружений, вып.6.- К.: Наукова думка, 1984, с. 47-49.

21. Дыховичный А.А., Жемчужникова Л.Г., Зима С.Г., Малачевский Л.Д. К расчету крупнопанельных зданий, возводимых на подрабатываемых территориях.- В кн. Эффективные конструкции гражданских зданий.- К.: КиевЗНИИЭП, 1984, с. 25-31.

22. Дыховичный А.А., Ярлыченко Ю.Е. Моделирование случайных свойств бетона в конструкциях.- В кн. Надежность и

долговечность машин и сооружений, вып.8.- К.: Наукова думка, 1985, с. 77-80.

23. Дыховичный А.А., Кретов В.И., Вишневецкий А.И. Методы построения расчетных моделей, адекватных физическим моделям строительных конструкций.- В кн. Сопротивление материалов и теория сооружений, вып.48.- К.: Будівельник, 1986, с. 86-88.

24. Дыховичный А.А. Математическое моделирование и экспериментальная информация в исследованиях строительных конструкций.- В кн. Строительные конструкции, вып.39.- К.: Будівельник, 1986, с. 29-32.

25. Дыховичный А.А., Давыдов В.С., Жемчужникова Л.Г. Математическое моделирование взаимодействия аданий с неравномерно деформируемым основанием.- В кн. Конструкции гражданских аданий в сложных условиях строительства.- К.: КиевЗНИИЭП, 1986, с. 21-25.

26. Дыховичный А.А. Учет разнородных измерений при параметрической идентификации расчетных моделей.- В кн. Сопротивление материалов и теория сооружений, вып.51.- К.: Будівельник, 1987, с. 37-41.

27. Дыховичный А.А., Давыдов В.С. Интерпретация результатов эксперимента при совершенствовании расчетных моделей.- В кн. Экспериментальные исследования конструкций гражданских аданий.- К.: КиевЗНИИЭП, 1987, с. 86-91.

28. Дыховичный А.А. Адекватность расчетных моделей.- В кн. Надежность и долговечность машин и сооружений, вып.14.- К.: Наукова думка, 1988, с. 32-37.

29. Банах В.А., Дыховичный А.А., Вишневецкий А.И. К расчету многостажных аданий из монолитного железобетона, возводимых в сложных условиях строительства.- В кн. Здания из монолитного железобетона.- К.: КиевЗНИИЭП, 1989, с. 72-78.

30. Дыховичный А.А., Жемчужникова Л.Г., Банах В.А. О влиянии перекрытий на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций многостажных аданий.- В кн. Конструкции гражданских аданий.- К.: КиевЗНИИЭП, 1992, с. 59-68.

Dyehovichnyy.A. Models of Building Constructions and Their Identification. A thesis in manuscript form to search for academic degree of doctor of engineering science on profession 05.23.01 - Building Structures, Buildings and Edifices. Kiev State Technical University of Construction and Architecture. Kiev, 1995.

The author has worked out general method of building and testing the adequacy of building structures models based on the synthesis of experimental and theoretical information, and has offered determinated, imitational and combined constructions models, including buildings and structures, erected under specific geological conditions.

The author has implemented his models and methods of their analysis in research and designation of many-storeyed dwelling houses erected under specific geological conditions in Donbas and Volgodonsk, and also a number of other industrial and civil buildings.

Дыховичный А.А. Модели строительных конструкций и их идентификация. Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения. Киевский государственный технический университет строительства и архитектуры, Киев, 1995.

Защищается общий метод построения и проверки адекватности моделей строительных конструкций, зданий и сооружений на основе синтеза экспериментальной и теоретической информации. Предложены детерминированные, имитационные и комбинированные модели сложных строительных конструкций, в том числе, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях.

Осуществлено внедрение предложенных моделей и методов их анализа в исследованиях и проектировании многоэтажных жилых зданий, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях в Донбассе и Волгодонске, а также ряда других зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения.

Ключові слова: КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД, МОДЕЛІ, СКЛАДНІ УМОВИ БУДІВНИЦТВА, ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ

Видеокассета № 11-11. Тираж 120 экз. Изд. 1988 г.  
Заказ № 7002  
Издательство «Советский Союз»

118



Підписано до друку 3. 11. 95. Тираж 120. 1. 5 ум. -вид. арк.  
Зановлення № 7063  
КиївЗНДІЕП, 252195, Київ, б. Лесі Українки, 26

46698

AB 33.580  
**AB 33.580**

REPRODUCED FROM THE ORIGINAL COPY OF THE  
RECORDS OF THE NATIONAL ARCHIVES  
SERIALS ACQUISITION DIVISION  
GPO : 1975 O - 348-100