ISSN (p) 0321-2211, ISSN (e) 2663-3450

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 004.925.8:519.876.5

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ВІБРАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ

Цибульник С. О., Губенко Є. А.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: tsybulnik.s.a@gmail.com

У наш час оцінку надійності будівель і споруд виконують за допомогою розрахунку статичної міцності будівельних конструкцій та розрахунку на втому і міцність. Однією з найбільш важливих умов підвищення ефективності використання будівель та споруд є забезпечення міцності та надійності їх конструкцій. Це призвело до розробки нових методів розрахунку міцності, довговічності та експлуатаційних властивостей матеріалів, у тому числі їх поведінки в умовах впливу високих температур та динамічних навантажень. Ефективність подальшого вдосконалення управління будівництвом значною мірою залежить від того, наскільки якісно розроблена база ресурсних нормативів для будівельних процесів. Стара нормативна база створена для функціонування будівельної галузі в системі планової економіки. Вона малопридатна для ринкової економіки і не тільки гальмує будівництво, а й збільшує число похибок, що призводить до небажаних результатів. Імітаційне моделювання дає змогу підвищити рівень автоматизації підготовки будівництва, розробляти нормативи витрат ресурсів для типових та індивідуальних проектів. Великий обсяг робіт для уточнення наявних нормативів витрат ресурсів неможливо здійснювати без застосування комп'ютерного моделювання. Враховуючи стрімке впровадження моделювання у будівельну сферу, метою даної роботи є геометричне моделювання багатоповерхового будинку за одним з найбільш розповсюджених проектів України 90-х років. Тому у даній роботі за допомогою CAD-системи SolidWorks створено геометричні моделі багатоповерхового будинку різної складності, які дозволять у майбутньому провести імітаційне моделювання динамічного впливу у вигляді сейсмічних коливань різної інтенсивності та оцінити вплив елементів конструкції на час проведення та точність розрахунку. Побудовані моделі відрізняються між собою наявністю внутрішніх (не несучих) стін, сходової клітки та окремих проходів. Спільні спрощення моделей полягають у відсутності приміщень горища, підвалу та шахти ліфту. Додатково побудовано геометричну модель пальового фундаменту зі стрічковим монолітним ростверком для можливості дослідження взаємодії «грунт-конструкція». Імітаційне моделювання показало, що використання повної моделі будинку дає точніший результат. Також у результаті імітаційного моделювання визначено, що при вібраційному навантаженні найбільші деформації виникають в районах даху та фундаменту.

***Ключові слова**: CAD-системи; SolidWorks; CAE; ANSYS; багатоповерховий житловий будинок.*

Вступ

У сучасному світі імітаційне моделювання є ефективним засобом дослідження і проектування складних просторових систем. Потреба в імітаційному моделюванні виникає в зв'язку з великою вартістю або відсутністю можливості проведення досліджень реального об'єкта [1], а також через занадто велику (або малу) тривалість досліджуваного явища чи процесу. Тому актуальність такого моделювання з плином часу буде зростати. Імітаційне моделювання є однією із форм проведення розрахунків на персональному комп'ютері з використанням математичних, геометричних або інших видів моделей, які з певним ступенем наближення описують закономірності функціонування реальних систем і об'єктів.

Імітаційне моделювання, як інструмент експериментального дослідження складних систем, охоплює методологію створення моделей систем, методи алгоритмізації та засоби програмних реалізацій імітаторів, планування, організацію і виконання на персональному комп'ютері експериментів з імітаційними моделями, машинну обробку даних та аналіз результатів. Водночас, динамічні й стохастичні характеристики реальних процесів відображаються в моделі за допомогою спеціально сконструйованих процедур.

Чим швидше розвивається суспільство, тим складніше стають реальні системи, тому виникає

питання про складність імітаційних моделей. Зараз комп'ютерні технології дозволяють вирішити це завдання. Виникає можливість згенерувати комбіновані імітаційно-аналітичні моделі, що враховують весь поліморфізм, який має місце в реальних системах [1].

Досягнення імітаційного моделювання стрімко поліпшуються зі збільшенням швидкодії і оперативно запам'ятовуючих пристроїв, з удосконаленням математичного забезпечення, поліпшенням баз даних і периферійних пристроїв. Розвиток імітаційного моделювання призведе до появи нових способів вирішення завдань і аналізу великих систем, в основу яких входить організація імітаційних досліджень з їх моделями [1].

Серед головних напрямів використання імітаційного моделювання можна виділити наступні [2]:

1) прогнозування розвитку національних економік;

2) створення важливих народногосподарських проектів;

3) розробка і впровадження інформаційних систем різного призначення;

4) створення системи оборони країни і планування військових операцій;

5) охорона навколишнього середовища;

6) навчання та підготовка кадрів;

7) будівництво.

Машинна імітація являє собою науковий напрям. Активне впровадження машинної імітації у сферу розв'язання різноманітних завдань організації і управління виробництвом, інтенсивна експлуатація імітаційних методів у всіх галузях інженерно-економічної діяльності, широке залучення ідей і методів машинного моделювання до підготовки наукових і виробничих кадрів – важливі народногосподарські завдання, успішне виконання яких багато в чому визначить ефективність суспільного виробництва в цілому. Перевагами імітаційного моделювання є [2]:

1. Можливість надання відповідей на багато запитань, що постають на ранніх стадіях задуму і попереднього проектування систем, уникнувши застосування методу спроб і помилок, пов'язаного із значними витратами.

2. Можливість досліджувати особливості функціонування системи за будь-яких умов, зокрема й тих, які важко або неможливо реалізувати в натурних експериментах. При цьому параметри системи і навколишнього середовища можна варіювати у надзвичайно широких межах, відтворюючи довільну обстановку.

3. Можливість прогнозування поводження системи в близькому та віддаленому майбутньому, екстраполюючи результати на моделі. У такому разі дані, здобуті раніше, поповнюються завдяки застосуванню статистичного підходу.

4. Можливість скорочення часу випробування технічних і технологічних систем та пристроїв.

5. Можливість швидко й у великому обсязі дістати потрібну інформацію, що відбиває хід реальних процесів, уникнувши дорогих, а часто й неможливих натурних випробувань цих процесів.

6. Імітаційна модель є надзвичайно гнучким пізнавальним інструментом, здатним відтворювати довільні як реальні, так і гіпотетичні ситуації.

7. Імітаційне моделювання з використанням персонального комп'ютера часто буває єдиним реальним способом розв'язання таких задач.

За допомогою імітаційного моделювання також можна контролювати процеси будівництва різної складності. Процес контролю можливий на різних етапах будівництва, але найчастіше проходить на початковому етапі розробки конструкцій.

Імітаційне моделювання дуже поширене у сфері будівництва. На цю тему існує багато наукових робіт різних авторів, у яких представлено застосування моделювання для вирішення наявних проблем, його недоліки та переваги. Розглянемо деякі роботи, пов'язані з імітаційним моделюванням статичних і динамічних впливів на будівельні конструкції.

В. І. Данілов у своїй роботі [3] застосував імітаційне моделювання для деформаційно-міцнісних властивостей фундаментних плит при можливих природних та техногенних збуреннях. Він показав, що за допомогою імітаційних експериментів стає можливим обирання фундаменту потрібної товщини, класу бетону тощо.

Дюкина Н. С., Баженов В. Г та Артем'єва А. А. у своїй статті [4] про моделювання споруд при землетрусах, запропонували чисельну методику моделювання сейсмостійкості заглиблених великогабаритних споруд, яка враховує контактну взаємодію з ґрунтом, полем сили тяжіння, неоднорідностями ґрунтової середи, тощо. Показано, що розташування джерела сейсмічного збурення призводить до різного впливу на поведінку різноманітних типів споруд при землетрусі.

У статті «Динамічний розрахунок будинків на вітрові навантаження з урахуванням пульсаційної складової» [5] за авторством Кравченко Г. М., Труфанова О. В. та Долженко А. В. розглянуто розрахунок каркасу будівлі за просторовою плитно-стрижневою схемою з урахуванням вітрових впливів методом скінченних елементів. Отримані горизонтальні переміщення вузлів з урахуванням і без урахування пульсаційної складової вітрового навантаження. За результатами розрахунку зроблені висновки та надано рекомендації щодо обліку пульсаційної складової вітрового навантаження.

Про динамічний моніторинг споруд і конструкцій для контролю їх сейсмостійкості у своїй статті [6] розповіли Завалішин С. І., Шаблинський Г. Е., Румянцев А. А. У роботі досліджувався стан будівлі під дією вібромашин дебалансного типу направленої дії. Експерименти показали, що крім спрямованої дії вібратори створюють і концентри-

чні сейсмічні хвилі, що викликають повздовжні коливання будівлі. У результаті випробувань будівлі отримано амплітуди прискорень і зсувів по її висоті і довжині.

У статті про моделювання вітрового впливу на ансамбль висотних будівель за допомогою багатоблокових обчислювальних технологій [7] за авторством Ісаєва С. А., Баранова П. А., Жукової Ю. В., Терешкіної А. А. та Усачова А. Е. було показано, що нестаціонарна аеродинаміка архітектурних ансамблів з щільним компонуванням висотних будівель має характерні риси, властиві тандемам поганообтічних тіл, причому пульсуючі навантаження на будівлю, які діють з підвітряного боку, багато в чому обумовлюються самоорганізацією струменево-вихрових структур у просторі між будинками.

В. Г. Баженов, С. В Зефіров, П. В. Лаптєв, Н. С. Дюкина у своїй статті [8] про чисельне моделювання задач взаємодії споруд з двошаровою основою при сейсмічних впливах розробили математичну модель і методику чисельного моделювання поведінки будівель, споруд при сейсмічних коливаннях з урахуванням ефектів контактної взаємодії з ґрунтовою основою. Дана методика ґрунтується на скороченні розмірів розрахункової області і визначенні граничних значень імпульсів сейсмічного навантаження, що забезпечують достатню точність відтворення заданих акселерограм на поверхні півпростору.

У роботі Кічаєва О. В. [9] «Моделювання будівель, що експлуатуються у складних інженерно-геологічних умовах, при статичних і динамічних впливах» наведено результати чисельних досліджень, які показали адекватність прийнятої розрахункової моделі будівлі пожежного депо, що ілюструється зіставленням реальної картини деформування з результатами чисельного моделювання. Результати сейсмічного розрахунку вказують на дефіцит сейсмостійкості даної будівлі, в зв'язку з чим необхідний комплекс заходів щодо приведення будівлі у відповідність з нормами сейсмостійкого будівництва.

Rodrigues H. з іншими співавторами у своїй статті [10] про вплив сейсмічного навантаження на зміну осьового навантаження у залізобетонних колонах провели експериментальні випробування, які показали важливість зміни осьового навантаження при сейсмічній реакції залізобетонної колони. Були змодельовані три залізобетонні структури за допомогою програмного забезпечення SeismoStruct, які піддавались нелінійному статичному і динамічному аналізу. За результатами роботи можна зробити висновок, що зміна осьового навантаження вища в нижній частині колони і зменшується з висотою колони. Автори довели, що кутові колони досягли більших варіацій осьового навантаження, ніж фасадні та центральні.

Як видно з наведених вище наукових робіт, задачі впливу різноманітних динамічних навантажень на будівельні конструкції, а також актуальні задачі контактної взаємодії «ґрунт-конструкція» вирішуються в усьому світі. Але велике різноманіття архітектурних рішень серед будівель та споруд викликає необхідність проведення додаткових досліджень.

Постановка задачі

Ефективність подальшого вдосконалення управління будівництвом значною мірою залежить від того, наскільки якісно розроблена база ресурсних нормативів для будівельних процесів. Стара нормативна база, створена для функціонування будівельної галузі в системі планової економіки, малопридатна для ринкової і не тільки гальмує будівництво, а й збільшує число похибок, що призводить до небажаних результатів [11]. Імітаційне моделювання дає змогу підвищити рівень автоматизації підготовки будівництва, розробляти нормативи витрат ресурсів для типових та індивідуальних проектів. Великий обсяг робіт для уточнення наявних нормативів витрат ресурсів неможливо здійснювати без застосування комп'ютерного моделювання.

Імітаційне моделювання також дозволяє зробити процес випробування будинків на сейсмостійкість більш дешевим та точним, оскільки завдяки імітаційному моделюванню можна визначити місця розташування випробувальних установок для отримання більш інформативних результатів, а також місця встановлення датчиків системи збору, реєстрації та обробки виміряних даних.

Враховуючи все зазначене вище, а також стрімке впровадження моделювання у будівельну сферу, у даній роботі буде розглянуто імітаційне моделювання багатоповерхового будинку. Створені геометричні моделі різної складності дадуть змогу провести порівняння результатів імітаційного моделювання впливу зовнішніх динамічних збурень, а також визначити місця найбільших деформацій для встановлення датчиків системи моніторингу технічного стану будівлі.

Класифікація житлових будинків

Сучасна класифікація об'єктів житлового будівництва вкрай різноманітна, тому що даний вид будівельної діяльності сягає своїм корінням в глибоку старовину. У класифікації можуть бути представлені як традиційні будівельні об'єкти, так і унікальні сучасні розробки. Обумовлено це надзвичайною динамічністю розвитку архітектурно-будівельного проектування житлових і промислових будівель.

Процес вдосконалення та уніфікації йде безперервно, що дозволяє по-різному трактувати термін «житловий будинок» і як наслідок по-різному

вибудовувати класифікацію даних об'єктів будівництва.

Житловим визнається приміщення, яке призначене для проживання громадян та відповідає встановленим санітарним, протипожежним, містобудівним і технічним вимогам.

Житловий будинок – самостійний об'єкт, що має свої ознаки. Житловим будинком називають споруду (будову), призначену для проживання людей і яка відповідає відповідним будівельним, технічним, протипожежним, санітарно-гігієнічним вимогам. Іноді термін "житловий будинок" вживається в більш широкому значенні і охоплює також земельну ділянку, на якій знаходиться будинок, підсобні господарські будівлі, багаторічні зелені насадження [12].

На практиці зустрічаються будови змішаного типу, в яких поряд з житловими є також нежитлові приміщення: адміністративні, лікувальні, комунально-побутові та т.п. Житлові приміщення, розташовані в таких будинках, входять до складу житлового фонду. У складі житлових приміщень (житлових будинків) особливо виділяються квартири і житлові кімнати, які безпосередньо служать житлом для громадян.

Загальноприйнята класифікація житлових будинків [13] ґрунтується на параметрі поверховості. Він обраний не випадково, тому що дозволяє за допомогою класифікації визначати необхідну кількість поверхів для того чи іншого проекту житлового будинку залежно від типу будови. Також враховуються умови проживання, ступінь пожежної безпеки, різні конструктивні і економічні показники.

Наприклад, поверховість садибного будинку зазвичай не перевищує двох, тому що в іншому випадку будинком буде незручно користуватися з функціональних міркувань, водночас конструктивно він сильно відрізняється від будинків інших видів. Коли кількість поверхів у будинку більше п'яти, то необхідно встановлювати ліфт, якщо більше 10-ти поверхів, то кількість ліфтів збільшується до двох.

Межі групи також визначаються нормованим видом позаквартирних сходів – у спорудах вище 9-ти поверхів, вона повинна бути незадимлюваною. Будинки, чия поверховість понад 16-ти, мають більш жорсткі критерії по стійкості і міцності конструкції.

В українській практиці будівництва житлових будинків [13] враховується, як правило, верхня межа кількості поверхів у групі. Наприклад, якщо розглянути групу будинків, які не оснащені ліфтом, то виявиться, що в даному сегменті масово переважають допустимі за нормами 5-ти поверхові будинки з низьким рівнем комфортабельності. У групі багатоповерхових будівель (від 6-ти до 9-ти поверхів) масовим попитом користувалися тільки 9-ти поверхові об'єкти, тому що в будівлях виключно цієї поверхової групи ліфт використовується максимально ефективно. Схожих прикладів можна знайти достатньо. В Європі, Америці дані тенденції не спостерігаються, що в підсумку позначається на «різноповерховості» масової житлової забудови.

Житлові будинки мають наступну класифікацію [14].

1. За своїм призначенням. За контингентом заселення, для якого вони призначені, і часу проживання житлові, будівлі підрозділяють на чотири основні види:

- житлові квартирні будинки для породинного заселення і постійного проживання;
- гуртожитки для тимчасового (тривалого) проживання робітників на період роботи та учнівської молоді на час навчання;
- готелі для короткочасного проживання контингенту, який періодично змінюється (приїжджає з інших населених місць);
- інтернати для постійного проживання інвалідів та людей похилого віку.

2. За типом поверховості житлові будинки поділяють на:

- малоповерхові (1-2 поверхи);
- середньої поверховості (3-5 поверхів);
- багатоповерхові (6-9 поверхів);
- підвищеної поверховості (11-16 поверхів);
- висотні (понад 16 поверхів).

3. За кількістю квартир поділяються на:

- одноквартирні (індивідуальні);
- двоквартирні;
- багатоквартирні.

4. За своєю об'ємно-планувальною структурою поділяються на:

- секційні;
- коридорні;
- галерейні;
- коридорно і галерейно секційні;
- блочні.

У масовому житловому будівництві, характерному для України 90-х років, основним видом житлових будинків (більше 80%) – є квартирні будинки, призначені для породинного заселення. Отже, для геометричного моделювання обрано дев’ятиповерховий будинок на два під’їзди.

Геометричне моделювання

Геометричні моделі є основою для імітаційного моделювання. Вони створюються для того, щоб [15]:

- відтворити основні розміри об’єкта та його зовнішній вигляд;
- відтворити структуру об’єкта та його властивості;
- відтворити характер взаємодії як з зовнішніми, так і з внутрішніми навантаженнями та впливами;
- спрогнозувати наслідки впливу на об’єкт зовнішніх навантажень;
- спростити процес проектування.

Кресленик обраного для геометричного моделювання багатоповерхового будинку зображено на рис. 1.

Розробка геометричної тривимірної моделі багатоповерхового будинку проходила в декілька етапів для спрощення процесу побудови. Це пов'язано з тим, що планування кожного наступного поверху обраного житлового будинку, як і більшості інших, не змінюється, тому достатньо створити один поверх і скопіювати його необхідну кількість разів.

Побудова першого поверху здійснюється на плиті, яка стоїть на палях – фундаменті. Фундамент – основа для будівель і споруд. Він є найважливішою частиною будівлі, його основна функція полягає в передачі і розподілі навантаження від будівлі на ґрунт під його основою. Загальний принцип будівництва фундаменту для будинку приблизно однаковий у всіх сучасних проектах і змінюється залежно від конкретних особливостей ґрунту та технології, яку використовують. У даний час при будівництві будинків використовується кілька основних типів фундаменту: стрічковий, пальовий, стовпчастий і монолітний фундамент [16].

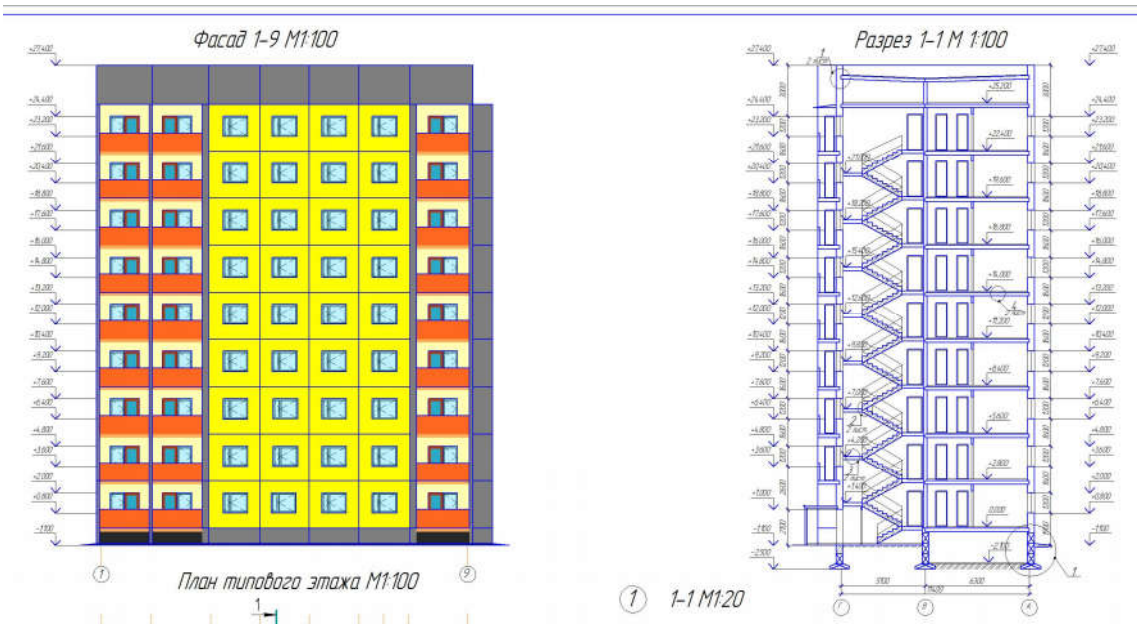


Рис. 1. Кресленик дев'ятиповерхового будинку

Відповідно до креслень та прийнявши деякі спрощення, обрано пальовий фундамент зі стрічковим монолітним ростверком. На рис. 2 зображено створену тривимірну модель фундаменту для досліджуваного будинку.

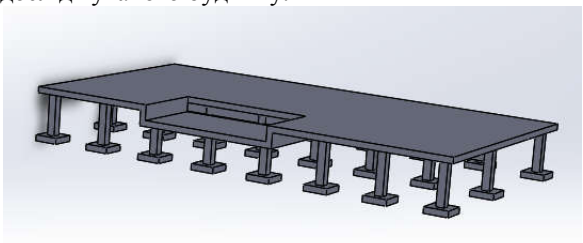


Рис. 2. Модель пальового фундаменту

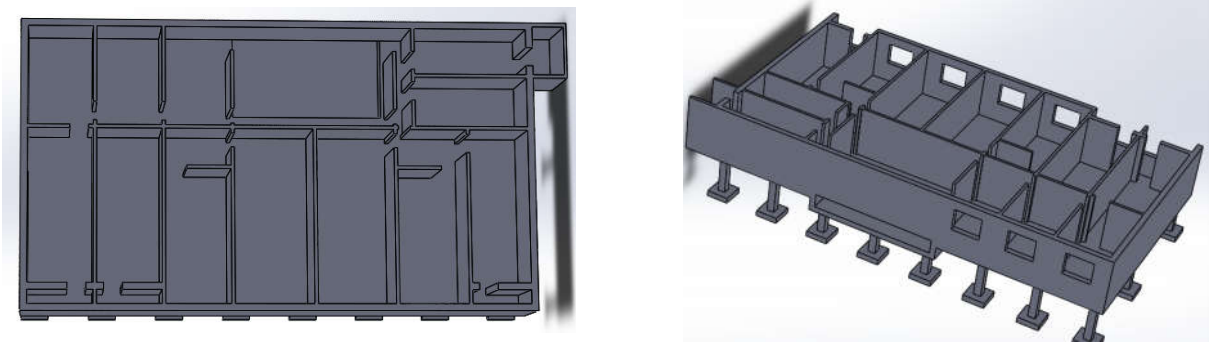
Побудова геометричних моделей багатоповерхового будинку, як і його фундаменту, проходила за допомогою CAD-системи SolidWorks. Створення основних моделей проходила в декілька етапів, а саме: побудова несучих конструкцій, побудова перекриттів, побудова дверних та віконних прорізів, побудова поверхів. Серед загальних для усіх моделей спрощень прийнято наступні: підвальні приміщення, горище, шахта ліфта та сходові прольоти не моделюються. Усі етапи створення геометричних моделей супроводжувалися побудовою відповідних ескізів для відтворення необхідних елементів планування будинку.

Геометричні моделі, які у межах прийнятих припущень та спрощень відтворюють планування поверху без віконних прорізів (вигляд зверху) та з віконними прорізами, зображено на рис. 3.

Геометричну модель першого поверху зображено на рис. 4.

Враховуючи той факт, що планування кожного наступного поверху не змінюється порівняно з попереднім, було прийнято рішення скопіювати перший поверх (без фундаменту) необхідну кількість разів за допомогою інструменту «Лінійний масив». Для обраного проекту житлового будинку необхідно зробити масив з дев'яти елементів.

У параметрах побудови масиву задаються напрямок та елементи, котрі потрібно включити до масиву. Напрямком є вертикальна вісь. Додатковим параметром масиву є відстань, на якій будуть знаходитися його елементи. Цією відстанню є висота поверху. Результат використання інструменту «Лінійний масив» наведено на рис. 5.



а) б)

Рис. 3. Геометрична модель поверху: а – вигляд зверху, б – вигляд збоку

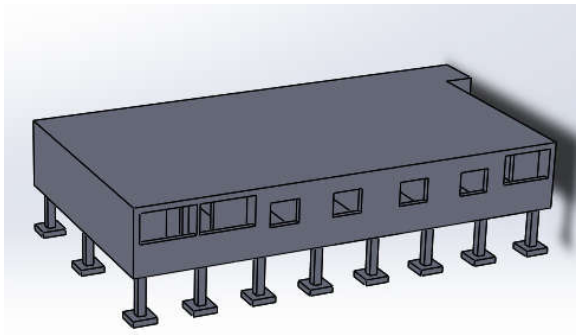


Рис. 4. Геометрична модель першого поверху 9-ти поверхового будинку

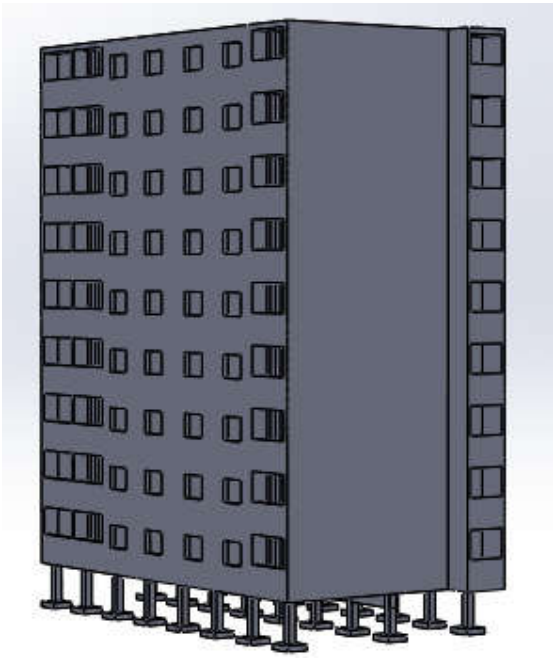


Рис. 5. Готова геометрична модель багатоповерхового будинку

Додатково створено спрощену геометричну модель обраного багатоповерхового будинку (рис. 6). Спрощення цієї моделі полягає у виключенні другорядних стін. Подібна модель у ході імітаційного моделювання дозволить оцінити вплив наявності другорядних стін на вібраційні характеристики житлового будинку, а також на точність і час розрахунку.

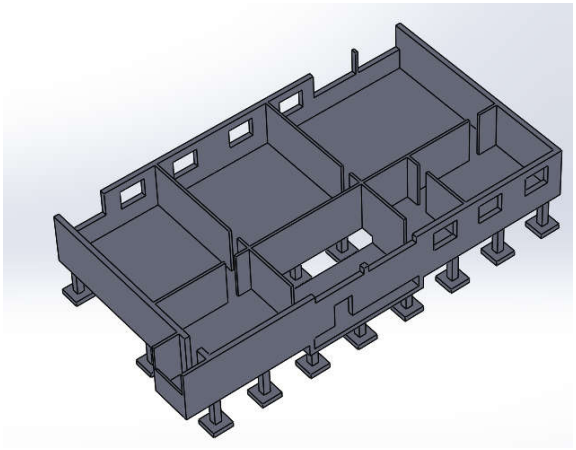


Рис. 6. Спрощена геометрична модель першого поверху житлового будинку

Імітаційне моделювання багатоповерхового будинку проходило в програмному комплексі інженерного розрахунку ANSYS. У якості матеріалу конструкції обрано залізобетон. Результати модального аналізу повної моделі багатоповерхового будинку представлені на рис. 7 та в табл. 1.

Для порівняння результатів виконано імітаційне моделювання зі спрощеними моделями. Якісні результати моделювання мають схожий до попереднього випадку характер. Кількісні результати представлені в табл. 2.

За даними аналізу напружень та деформацій, можна зробити висновок, що найбільші деформації виникають у верхній частині будинків та їх фундаментах, а найменші – посередині будинку. Це означає, що при використанні систем моніторингу

технічного стану подібних конструкцій датчики необхідно встановлювати або в районі даху, або в районі фундаменту.

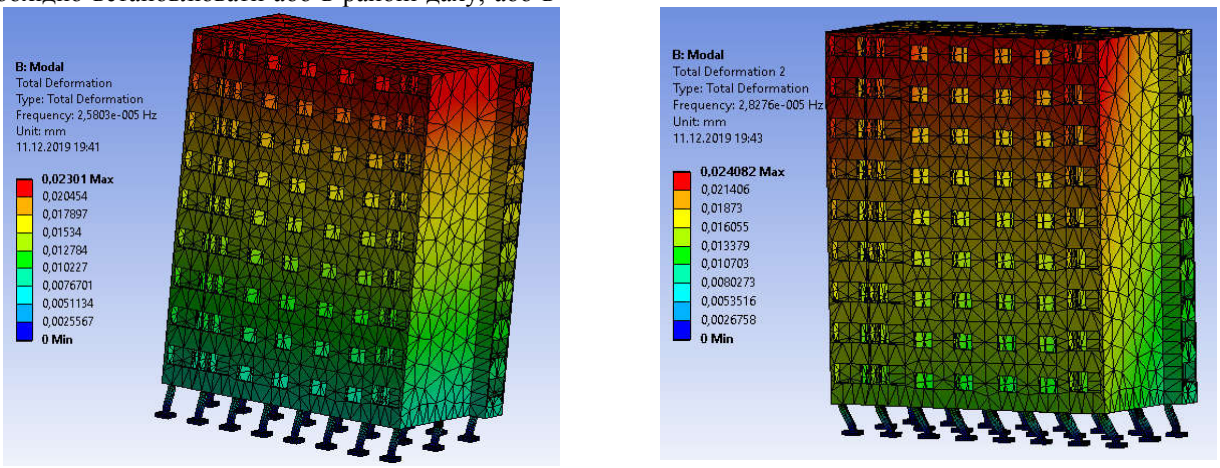


Рис. 7. Результати модального аналізу за першими двома модами коливань

Таблиця 1. Чисельні значення частот та деформацій повної моделі

Мода, №	Частота, Гц	Максимальна деформація, мм
1	2,5803e-005	0,02301
2	2,8276e-005	0,02408
3	3,2984e-005	0,03229
4	8,1864e-005	0,02711
5	9,3036e-005	0,02620
6	1,3517e-004	0,02130
7	1,4705e-004	3,9589e-005
8	2,2134e-004	2,7144e-005
9	2,6109e-004	6,0011e-004
10	2,6369e-004	3,8013e-005

Таблиця 2. Чисельні значення частот та деформацій спрощеної моделі

Мода, №	Частота, Гц	Максимальна деформація, мм
1	2,5555	0,02675
2	2,9483	0,02828
3	3,434	0,03661
4	8,2918	0,02926
5	9,3584	0,02712
6	12,788	0,03101
7	13,607	0,04493
8	20,966	0,06367
9	22,932	0,22684
10	23,436	0,18660

Проте поточні дослідження було виконано без урахування взаємодії «грунт-конструкція», тому для уточнення результатів необхідно провести додаткові дослідження.

З кількісних результатів імітаційного моделювання (частот та деформацій) можна зробити висновок, що повна модель будинку дає більш точні результати. Власні частоти та деформації повної моделі значно менші ніж спрощеної, що пояснюється більш жорсткою конструкцією поверхів. Тому для подальшого моделювання слід використовувати саме повну модель багатоповерхового будинку.

Отже, у даній роботі проведено модальний аналіз моделей багатоповерхового будинку. У майбутніх роботах планується провести імітаційне моделювання динамічного впливу у вигляді сейсмічних коливань різної інтенсивності та з різними напрямками розповсюдження коливань для більш детального визначення місць встановлення датчиків системи моніторингу технічного стану.

Висновки

За допомогою CAD-системи SolidWorks створено геометричні моделі багатоповерхового будинку різної складності, які дозволять у майбутньо-

му провести імітаційне моделювання динамічного впливу у вигляді сейсмічних коливань різної інтенсивності та оцінити вплив елементів конструкції на час проведення та точність розрахунку. Створені моделі відрізняються між собою наявністю внутрішніх (не несучих) стін, сходової клітки та окремих проходів. Спільні спрощення моделей полягають у відсутності приміщень горища, підвалу та шахти ліфту.

Додатково побудовано геометричну модель пальового фундаменту зі стрічковим монолітним ростверком для можливості дослідження взаємодії «грунт-конструкція».

Імітаційне моделювання показало, що найбільш ефективним є використання повної моделі багатоповерхового будинку через значне збільшення жорсткості конструкції, викликане наявністю другорядних стін.

Література

[1] А. С. Макова, «Перспективы развития имитационного моделирования», *Современные наукоемкие технологии*, №7-1, С. 59-60, 2014.

[2] Сутність та поняття імітаційного моделювання [Електронний ресурс]. – Доступ: https://studopedia.com.ua/1_229881_sutnist-ta-ponyattya-imitatsiynogo-modelyuvannya.html. Дата звернення: Груд. 10, 2019р.

[3] В. И. Данилов, «Имитационное моделирование деформационно-прочностных свойств проектируемых фундаментных плит при возможных естественных и техногенных воздействиях», *Приволжский научный вестник*, №11 (27), 2013.

[4] Н. С. Дюкина и др., «Моделирование поведения сооружений при мелкофокусном и глубокофокусном землетрясениях», *Проблемы прочности и пластичности*, Том 4, №76, С. 279-287, 2014.

[5] Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, А. В. Долженко, «Динамический расчет зданий на ветровые нагрузки с учетом пульсационной составляющей», *APRIORI. Серия: Естественные и технические науки*, №1, 2013.

[6] С. И. Завалишин и др., «Динамический мониторинг зданий и сооружений для контроля их сейсмостойкости», *Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр.*, №8, С. 42-53, 2008.

[7] С. А. Исаев и др., «Моделирование ветрового воздействия на ансамбль высотных зданий с помощью многоблочных вычислительных технологий», *Инженерно-физический журнал*, Том 87, №1, С. 107-118, 2014.

[8] В. Г. Баженов и др., «Численное моделирование задач взаимодействия сооружений с двухслойным грунтовым основанием при сейсмических воздействиях», *Пробл. прочн. и пластичн.: Межвуз. сб.*, №67, С. 162-167, 2005.

[9] О. В. Кичаева, «Моделирование зданий, эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях, при статических и динамических воздействиях», *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, №28, С. 375-385, 2004.

[10] H. Rodrigues et al., “Influence of seismic loading on axial load variation in reinforced concrete columns”, *E-GFOS*, Vol. 9, №16, pp. 37-49, 2018. DOI: 10.13167/2018.16.4

[11] В. Б. Задоров, В. Т. Шпирний, Є. Є. Шабала, «Використання імітаційного моделювання для формування нормативів витрат ресурсів для будівельних процесів», *Управління розвитком складних систем*, №13, 2013.

[12] П. Нойферт, Л. Нефф, *Проектирование и Строительство. Дом. Квартира. Сад*, Москва, РФ: Архитектура-С, 2005.

[13] Н. Ш. Согоян, *Иллюстрированный словарь архитектурных терминов и понятий*, Москва, РФ: Архитектура-С, 2006.

[14] Т. Г. Маклакова, *История архитектуры и строительной техники. Часть 1. Зодчество доиндустриальной эпохи: Учебник*, Москва, РФ: Изд-во АСВ, 2011.

[15] В. В. Пилюгин, Л. Н. Сумароков, «Геометрическое моделирование», *Матем. моделирование*, Том 6, №5, с. 21-36, 1994.

[16] С. С. Атаев, Технология индустриального строительства из монолитного бетона, Стройиздат, 1989.

УДК 004.925.8:519.876.5

С. А. Цыбульник, Е. А. Губенко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ВИБРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЭТАЖНЫХ ДОМОВ

Оценку надежности зданий и сооружений обычно выполняют с помощью расчета статической прочности строительных конструкций и расчета на усталость и прочность. Одним из наиболее важных условий повышения эффективности использования зданий и сооружений является обеспечение прочности и надежности их конструкций. Это привело к разработке новых методов расчета прочности, долговечности и эксплуатационных свойств, в том числе и их поведения в условиях воздействия высоких температур и динамических нагрузок.

Эффективность дальнейшего совершенствования управления строительством в значительной степени зависит от того, насколько качественно разработана база ресурсных нормативов для строительных процессов. Старая нормативная база создана для функционирования строительной отрасли в системе плановой экономики. Она малопригодна для рыночной экономики и не только тормозит строительство, но и увеличивает число ошибок, что приводит к нежелательным результатам. Имитационное моделирование позволяет повысить уровень автоматизации подготовки строительства, разрабатывать нормативы расходов ресурсов для типовых и специальных проектов. Большой объем работ для уточнения имеющихся нормативов расхода ресурсов невозможно осуществлять без применения компьютерного моделирования. Учитывая стремительное внедрение моделирования в строительную сферу, целью данной работы является геометрическое моделирование многоэтажного дома по одному из самых распространенных проектов Украины 90-х годов. Поэтому в данной работе с помощью CAD-системы SolidWorks созданы геометрические модели многоэтажного дома различной сложности, которые позволят в будущем провести имитационное моделирование динамического воздействия в виде сейсмических колебаний различной интенсивности и оценить влияние элементов конструкции на время проведения и точность расчета. Построенные модели отличаются между собой наличием внутренних (ненесущих) стен, лестничной клетки и отдельных проходов. Совместные упрощения моделей заключаются в отсутствии помещений чердака, подвала и шахты лифта. Дополнительно построено геометрическую модель свайного фундамента с ленточным монолитным ростверком для возможности исследования взаимодействия «почва-конструкция». Имитационное моделирование показало, что использование полной модели дома дает более точный результат. Также в результате имитационного моделирования определено, что при вибрационной нагрузке самые большие деформации возникают в районах крыши и фундамента.
Ключевые слова: CAD-системы; SolidWorks; CAE; ANSYS; многоэтажный жилой дом.

S. Tsybulnyk, Ye. Hubenko
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

SIMULATION OF THE INFLUENCE OF GEOMETRIC FEATURES ON MULTI-STOREY BUILDINGS VIBRATION CHARACTERISTICS

Background. Nowadays, assessing the reliability of buildings and structures is performed by calculating the static strength of building structures and calculating fatigue and strength. One of the most important conditions for increasing the efficiency of use of buildings and structures is to ensure the strength and reliability of their structures. This led to the development of new methods for calculating strength, durability, and performance properties, including their behavior under conditions of high temperatures and dynamic loads. The effectiveness of further improvement of construction management is highly depends on how well developed the base of resource standards for construction processes. The old regulatory framework was created for the functioning of the construction industry in the planned economy. It is unsuitable for a market economy and not only slows down construction, but also increases the number of errors. This leads to undesirable results.

Objective. Simulation allows you to increase the level of automation of construction preparation, to develop standards for resource consumption for standard and special projects. A large amount of work to clarify the existing standards for resource consumption cannot be carried out without the use of computer modeling. Modeling is increasingly used in the construction industry, so the goal of this work is to do geometric modeling of a multi-storey building according to one of the most common projects of Ukraine in the 90s.

Conclusions. In this work, using the SolidWorks CAD system, geometric models of a multi-storey building of varying complexity were created. They will allow in the future to carry out simulation modeling of the influence of dynamic effects in the form of seismic vibrations of various intensities. In addition, it will be possible to evaluate the effect of the presence of different structural elements on the time and accuracy of the calculation. The constructed models differ among themselves by the presence of internal (non-bearing) walls, a staircase and separate passages. Joint simplification of models consists in the absence of attic, basement and elevator shaft rooms. In addition, a geometric model of a pile foundation with a tape monolithic grillage was constructed for the possibility of studying the soil-structure interaction. Simulations have shown that using a full model of a multi-storey building gives a more accurate result. Also, as a result of simulation, it was determined that under vibrational load the largest deformations occur in the areas of the roof and foundation.

Keywords: CAD systems; SolidWorks; CAE; ANSYS; multi-storey residential building.

Надійшла до редакції
04 червня 2019 року

Рецензовано
16червня 2019 року