

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 41.085.008
при Одеській державній академії
будівництва та архітектури

ВІДГУК
офіційного опонента доктора технічних наук, професора
НІКІФОРОВОЇ ТЕТЯНИ ДМИТРІВНИ
на дисертаційну роботу
ПИСАРЕВСЬКОГО БОГДАНА ЮРІЙОВИЧА
«ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОПОВЕРХОВИХ
БУДІВЕЛЬ ПРИ ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВАХ»,
поданої до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(галузь знань 19 Архітектура і будівництво)

Актуальність теми. Головною вимогою при проектуванні будівель є забезпечення їхньої надійної і безпечної експлуатації протягом нормативного строку служби. При проектуванні багатоповерхових будівель на дію динамічних навантажень сучасні норми проектування вимагають виконання детального аналізу напружено-деформованого стану конструкцій будівель з урахуванням нелінійності деформування конструкцій будівлі та ґрунтової основи, інерційності та дисипативних властивостей ґрунту та інше.

На сьогодні, багатофакторний аналіз динамічної поведінки системи «наземна частина-фундамент-ґрунт» проводиться засобами чисельного моделювання. Розвиток методів чисельного аналізу з застосуванням комп'ютерного програмного забезпечення дозволяє розв'язувати надскладні задачі динаміки, що призвело до можливості переведення інженерних розрахунків на новий рівень. Складність досліджень полягає не тільки у багаторазовому розв'язанні системи рівнянь великого порядку, але й у виявленні переважаючих властивостей середовищ, що визначають поведінку будівель, призначенні коректних розрахункових моделей та характеристик матеріалів, навантажень і впливів, що відображають дійсний напружено-деформований стан конструкцій будівлі і фундаментів.

При моделюванні динамічної взаємодії будівель з основою одним із проблемних питань є врахування процесів згасання коливань в ґрунті.

Код	10	12	2024
Вхідний №	122-1986		

конструкціях, які значно відрізняються як по своїй природі, так і по кількісним показникам, а найбільш повну інформацію про напружено-деформований стан елементів системи «наземна частина-фундамент-грунт» можливо отримати тільки при використанні прямих динамічних методів розрахунку по неявній або явній схемі інтегрування. Зважаючи на високу складність задач даного класу в більшості інженерних розрахунків і досі використовуються спрощені спектральні методи, а також моделі середовищ, які не в достатній мірі враховують їхні властивості.

Таким чином, тема дисертаційного дослідження Писаревського Б. Ю., яка присвячена створенню методики моделювання та чисельних розрахунків системи «наземна частина-фундамент-грунт» для оцінки напружено-деформованого стану конструкцій багатоповерхових будівель при динамічних впливах, що дозволяє зменшити кількість невідомих, врахувати нелінійні властивості та згасання коливань ґрунту (тобто, можливість моделювання безперервного проходження хвиль у нескінченну область ґрунтового масиву), є **актуальною**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає актуальним напрямам науково-технічної політики України відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №547 від 23.05.2011 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу» та науковим напрямом досліджень кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів Національного авіаційного університету за держбюджетними темами №ДР 6/10.01.02 «Комп'ютерне моделювання процесів життєвого циклу об'єктів цивільного та транспортного призначення» та № ДР 36/10.01.02 «Побудова теорії опору складених залізобетонних конструкцій на основі механіки руйнування залізобетону та її комп'ютерне моделювання».

Структура та загальна характеристика дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 159 сторінки, у тому числі: 10 сторінок анотації, 3 сторінки авторських публікацій,

117 сторінок основного тексту, 10 таблиць, 67 рисунків, 14 сторінок списку використаних джерел із 132 найменувань та 9 сторінок додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність науково-прикладної задачі, що розв'язується, сформульовано мету та завдання досліджень, визначений об'єкт, предмет і методи досліджень, наведені наукова новизна, особистий внесок здобувача та практична цінність результатів роботи, а також наведені дані про апробацію роботи, публікації, структуру та обсяг дисертації.

У **першому** розділі дисертації висвітлено критичний аналіз проблеми розв'язання задач динамічного розрахунку конструкцій будівель і спору з урахуванням сумісної роботи з ґрунтовою основою при чисельному моделюванні.

Проведено огляд робіт присвячених дослідженню напружено-деформованого стану системи «наземна частина-фундамент-ґрунт» на динамічні дії та відмічені недоліки, переваги та можливість застосування відомих методів побудови динамічних розрахункових моделей, методів дискретизації, методів складання рівнянь руху механічних систем, рівнянь рівноваги пружно-пластичних систем, методів чисельного моделювання та моделей ґрунтових основ для опису нелінійної поведінки ґрунтової основи, фундаментів та конструкцій будівлі при динамічних впливах.

На основі проведеного аналізу сучасного стану науково-прикладної задачі розрахунку системи «наземна частина – фундамент - ґрунт» чисельними методами сформульовано задачі досліджень.

У **другому** розділі роботи викладені теоретичні передумови врахування взаємодії елементів системи «наземна частина – фундамент - ґрунт» при динамічних впливах у чисельних розрахунках з використанням методу скінченних елементів. Для моделювання контактної взаємодії фундаментів будівлі з ґрунтом основи обґрунтовано використання опорних в'язей з "жорсткою" поновлюючою силою, що моделюються двохвузловими скінченними елементами однобічного пружного зв'язку між вузлами та наведено розроблену методику побудови скінченно-елементних моделей для розрахунку будівель і споруд на нелінійно-пружній основі.

Досліджено особливості моделювання нескінченної області ґрунтового півпростору та методу підсистем та для розв'язку задач динаміки запропоновано методику формування розрахункових схем систем, де є безграничні області на основі поєднання методу скінченних елементів (МСЕ) та методу масштабування границі скінченного елемента (SBFEM).

Автором розроблені матричні рівняння та чисельні процедури формування рівнянь руху і, як частинний випадок, рівнянь рівноваги, у задачах, де є безграничні області та запропоновані спеціальні граничні скінченні елементів, що дозволяють моделювати нескінченний півпростір ґрунтового масиву на основі розрахункових схем обмеженої розмірності. Наведені результати верифікації розробленої чисельної процедури на відомих класичних задачах механіки деформівного твердого тіла.

Розроблені спеціальні скінченні елементи впроваджено в програмний комплекс ЛІРА-САПР при реалізації нової підсистеми для вирішення задач розрахунку на динамічні впливи, що підтверджується довідкою про впровадження результатів дисертаційної роботи.

У **третьому** розділі наведено результати чисельного експерименту з дослідження напружено-деформованого стану системи «наземна частина – фундамент - ґрунт» при дії динамічних навантажень. Чисельні дослідження виконані з використанням програмного комплексу ЛІРА-САПР відповідно до запропонованої автором методики та розроблених спеціальних граничних скінченних елементів. Виконаний порівняльний аналіз результатів розрахунку варіантів будівель на різні динамічні впливи (сейсмічний вплив, динамічний вплив від рухомого складу метрополітену) за запропонованою методикою з результатами розрахунків спектральним методом, прямим динамічним методом та методом нелінійного статичного розрахунку, дав змогу автору зробити висновок про те, що застосування розроблених СЕ дає можливість створювати моделі, які максимально точно відтворюють реальні умови роботи конструкцій будівлі за динамічних впливів.

За результатами чисельного експерименту встановлено, що:

- використання спеціальних граничних скінченних елементів обмеженої розмірності для моделювання нескінченного півпростору ґрунтового масиву при рішенні інженерних задач на динамічні впливи дозволяє усунути недоліки спектрального та прямого динамічного методу, а саме дозволяють змоделювати безперервне проходження динамічної хвилі у нескінченну область ґрунту;

- запропонована автором удосконалена методика чисельних розрахунків є універсальною і дозволяє враховувати сумісну роботу системи «наземна частина – фундамент - ґрунт» та фізично-нелінійну роботу будівельних конструкцій і ґрунту без збільшення розмірності задачі та відповідно, часу розрахунку.

Четвертий розділ роботи присвячено чисельним дослідженням напружено-деформованого стану 20-ти поверхової монолітної каркасної будівлі сімейно-оздоровчого комплексу у м. Одеса, яка зазнала сейсмічного впливу інтенсивністю 6 балів.

Чисельні дослідження полягали в аналізі результатів перевірочних розрахунків 20-ти поверхової каркасної будівлі на фактичне сейсмічне навантаження запропонованим методом підсистем із врахуванням реальних демпфуючих властивостей ґрунтової основи, наявності пошкоджень конструкцій будівлі та фізично-нелінійних властивостей залізобетону з тріщинами. Отримані результати розрахунку дозволили виконати оцінювання реального напружено-деформованого стану будівлі та порівняння з даними спостережень технічного стану будівлі, що зазнала пошкоджень при землетрусі. Аналіз показав збіжність результатів чисельних розрахунків з дійсними руйнуваннями елементів конструкцій будівлі після землетрусу.

Загальні висновки відповідають основним завданням дисертаційного дослідження, відображають наукову новизну та висвітлюють отримані результати та практичну реалізацію результатів роботи.

В **додатках** наведено: список публікацій здобувача за темою дисертації, відомості про результати апробації дисертації та довідки про впровадження результатів дослідження.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується використанням: загальноприйнятих методів розрахунку конструкцій будівель, що базуються на сучасній теорії сейсмостійкості, опору залізобетону, будівельної механіки та механіки деформівного твердого тіла; методів чисельного моделювання і ліцензованого програмного забезпечення; виконаним великим обсягом чисельних досліджень та співставленням результатів власних досліджень із дослідженнями вітчизняних та закордонних авторів, дотриманням положень чинних нормативно-технічних документів, а також відповідністю значень розрахункових величин результатам чисельного експерименту в прийнятих межах похибки; дотриманням положень чинних нормативно-технічних документів; впровадженням результатів в практику проектування та апробацією результатів роботи на науково-технічних конференціях різного рівня.

Наукова новизна отриманих результатів. Сформульовані мета і задачі дослідження в дисертаційній роботі Писаревського Богдана Юрійовича вирішені на основі отриманих нових наукових результатів. Найважливішими з них є:

- уперше запропонована нова чисельна процедура формування матриць жорсткості, демпфування, матриці мас, вектору відгуку прискорень, яка реалізована у методі скінченних елементів, і яка враховує безперервне проходження динамічної хвилі у нескінченну область ґрунтового масиву;

- запропонований новий чисельний метод розв'язання задач оцінювання напружено-деформованого стану складних будівельних систем «наземна частина-фундамент-ґрунт» при динамічних впливах з можливістю урахування фізичної нелінійності матеріалів конструкцій та ґрунтів основи, що заснований на поєднанні методу скінченних елементів (МСЕ) та методу масштабування границі скінченного елемента (SBFEM);

- розроблені нові спеціальні двох-, трьох- та чотирьох вузлові скінченні елементи, що дозволяють змоделювати безперервне проходження динамічної хвилі

впливах; у навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю (код 192) – будівництво та цивільна інженерія.

Повнота викладу матеріалів роботи в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 15 наукових працях, у тому числі, 3 наукових статті у фахових виданнях України, 7 наукових статей в іноземних спеціалізованих фахових виданнях (з них 3 наукові роботи, що входять до наукометричних баз даних, у тому числі 2 Scopus та 1 у Web of Science) та 5-ти наукових працях за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій.

Опубліковані наукові праці Писаревського Б. Ю., які зараховані за темою дисертації, відповідають вимогам п. 11 постанови Кабінету Міністрів України №167 від 06.03.2019 р. зі змінами №979 від 21.10.2020 р та №608 від 09.06.2021 р. «Про присудження ступеня доктора філософії». Аналіз публікацій свідчить, що вони всебічно і достатньо повно висвітлюють наукові положення, висновки та рекомендації, що містяться в дисертації.

Зміст анотації є ідентичним до основних наукових положень дисертаційного дослідження та в достатній мірі висвітлює суть проведених досліджень та отриманих результатів.

Особистий внесок автора. Основні результати дисертаційної роботи одержано здобувачем самостійно. Участь автора у спільних публікаціях відображена в переліку опублікованих робіт.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. За результатами роботи Писаревського Б. Ю. на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерела для текстових та ілюстрованих запозичень. Навмисних спотворень не виявлено. Таким чином можна зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності.

Питання дискусійного характеру та зауваження по роботі.

1. Загальні висновки 4, 5, та 6 не корелюються з завданнями, і носять дещо декларативний характер, тобто «що зроблено», а не результати досліджень. Доцільно було наголосити на якісних і кількісних показниках здобутих результатів, обґрунтувати достовірність результатів, пов'язати з метою й основними науковими

впливах; у навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю (код 192) – будівництво та цивільна інженерія.

Повнота викладу матеріалів роботи в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 15 наукових працях, у тому числі, 3 наукових статті у фахових виданнях України, 7 наукових статей в іноземних спеціалізованих фахових виданнях (з них 3 наукові роботи, що входять до наукометричних баз даних, у тому числі 2 Scopus та 1 у Web of Science) та 5-ти наукових працях за матеріалами міжнародних науково-практичних конференцій.

Опубліковані наукові праці Писаревського Б. Ю., які зараховані за темою дисертації, відповідають вимогам п. 11 постанови Кабінету Міністрів України №167 від 06.03.2019 р. зі змінами №979 від 21.10.2020 р та №608 від 09.06.2021 р. «Про присудження ступеня доктора філософії». Аналіз публікацій свідчить, що вони всебічно і достатньо повно висвітлюють наукові положення, висновки та рекомендації, що містяться в дисертації.

Зміст анотації є ідентичним до основних наукових положень дисертаційного дослідження та в достатній мірі висвітлює суть проведених досліджень та отриманих результатів.

Особистий внесок автора. Основні результати дисертаційної роботи одержано здобувачем самостійно. Участь автора у спільних публікаціях відображена в переліку опублікованих робіт.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. За результатами роботи Писаревського Б. Ю. на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерела для текстових та ілюстрованих запозичень. Навмисних спотворень не виявлено. Таким чином можна зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності.

Питання дискусійного характеру та зауваження по роботі.

1. Загальні висновки 4, 5, та 6 не корелюються з завданнями, і носять дещо декларативний характер, тобто «що зроблено», а не результати досліджень. Доцільно було наголосити на якісних і кількісних показниках здобутих результатів, обґрунтувати достовірність результатів, пов'язати з метою й основними науковими

положеннями, що захищаються в роботі, викласти рекомендації щодо їх практичного використання.

2. Незрозуміло, навіщо у розділі 2 автор наводить діаграми деформування насипних зруйнованих гірських порід на стиснення (рис. 2.5), що отримані іншими авторам, якщо результати цих експериментальних досліджень не використовує у своїй роботі?

3. Відсутнє обґрунтування призначення розмірів області моделювання ґрунтового масиву при верифікації граничних скінченних елементів у задачах на динамічні впливи. Яким чином призначені розміри області моделювання 10x10 м та 100x100 м?

4. У розділі 3, при проведенні чисельних експериментів із дослідження напружено-деформованого стану систем «наземна частина-фундамент-ґрунт» при динамічних впливах методом скінченних елементів, що реалізований у програмному комплексі ЛІРА-САПР не знайшли належного обґрунтування наступні питання:

Яка модель використовувалась і, як призначались розміри та граничні умови при моделюванні ґрунтової основи обмежених розмірів?

Яким чином враховувались демпфуючі властивості ґрунту при розв'язанні задач динаміки у часі?

Яким чином моделювались контактні умови взаємодії ґрунту та конструкцій будівель?

Як урахувалась фізична нелінійність конструкцій будівлі?

Як призначались масштабовані розміри ґрунтового масиву, форма і розміри скінченних елементів при моделювання нескінченної області?

5. В роботі відсутній статистичний аналіз співставлення результатів розрахунків, що отримані різними методами з даними результатів за запропонованим методом. Аналіз отриманих результатів досліджень, що наведений в розділах роботи після таблиць, графіків носить узагальнений характер і потребує уточнення (наприклад, за текстом дисертації: «Як видно з результатів розрахунків, за вибраних розмірів моделі теоретичні результати та отримані

методом скінчених елементів для всіх вузлів, виключаючи особливу точку ($x = 0$, $z = 0$), **дуже близькі**»; «Отримані результати розрахунків свідчать про те, що навіть за статичного навантаження похибка у знайдених значеннях переміщень на обмежених моделях **дуже велика**»; «З графіків видно, що переміщення вузла *A* у період впливу збуджуючого навантаження **практично збігаються**»; «Можна побачити, що результати, які отримано прямим динамічним методом, нелінійним статичним розрахунком та за запропонованою методикою, **добре узгоджуються**».

6. По тексті дисертації, автор, для опису ґрунтового масиву нескінченних розмірів вживає терміни «необмежена область», «нескінченна область», «безгранична область», бажано було прийняти однакове визначення терміну.

7. У зміст роботи не винесені пункти (1.2.1, 1.2.2, 1.3.1, ...) структурних підрозділів 1.2, 1.3, 1.4.

8. В роботі, по тексті дисертації зустрічаються помилки редакційного характеру, наприклад: зайва крапка в кінці назви таблиці 2.4 та в кінці назви «Висновки до розділу 3.» (стор. 85, стор. 119); перебільшення інтервалу після абзацного відступу (стор. 80); посилання в тексті на рисунок в середині речення «(Рис.3.6.)» - скорочення слова «рисунок» з великої літери та зайва крапка (стор. 104) та інші.

Загальний висновок

та відповідність дисертації встановленим вимогам

Вказані зауваження по роботі принципово не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, а лише підкреслюють її багатогранність, складність узагальнення результатів виконаних теоретичних і експериментальних досліджень.

Дисертація Писаревського Богдана Юрійовича викладена на достатньому науково-технічному рівні і, є завершеною науковою працею, що пройшла достатню апробацію та в повній мірі, відповідає спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія. Дисертаційна робота містить нові наукові та практичні результати, що в сукупності направлені на вирішення важливої науково-технічної задачі коректного чисельного моделювання динамічної поведінки багатоповерхових будівель при

оцінюванні їх напружено-деформованого стану та розрахунку конструкцій будівель для забезпечення надійної і безпечної експлуатації при динамічних впливах.

Представлена дисертаційна робота «Чисельне моделювання конструкцій багатоповерхових будівель при динамічних впливах» відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12.01.2017 р. (зі змінами від 31.05.2019) «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та «Про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України №167 від 06.03.2019 р. зі змінами №979 від 21.10.2020 р та №608 від 09.06.2021 р.), а її автор, **Писаревський Богдан Юрійович**, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 Архітектура і будівництво.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
декан будівельного факультету,
професор кафедри залізобетонних
і кам'яних конструкцій

ДВНЗ «Придніпровська державна
академія будівництва та архітектури»

Тетяна НІКІФОРОВА

Підпис Нікіфорової Т.Д. засвідчую:

Учений секретар ради ДВНЗ «Придніпровська
державна академія будівництва
та архітектури»



Анастасія ГАЙДАР