

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Фоміна Володимира Михайловича
**«Нелінійні динамічні розрахункові моделі залізобетонних каркасних
будівель і споруд з урахуванням пластичності матеріалів»**,
поданої до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, основних висновків, списку використаних джерел (279 найменувань) і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 341 сторінку, в тому числі 274 сторінки основного тексту, 29 сторінок списку використаних джерел, 38 сторінок додатків.

1. Актуальність теми дослідження

Зведення складних об'єктів будівництва, особливо висотних каркасних будинків і споруд, не можливе без належного наукового супроводу, що полягає у вдосконаленні методів статичного і динамічного розрахунку, які враховують все різноманіття впливів на напружено-деформований стан (НДС) елементів їх конструкцій. Одним із самих специфічних за складністю розрахункового моделювання та з точки зору наслідків можливого руйнування і небезпеки для людей є динамічний вплив, викликаний сейсмічними, вибуховими та ударними діями. Історія землетрусів свідчить про не достатнє забезпечення сейсмічної безпеки інфраструктури, як в Україні, так і за кордоном, що періодично призводить до великих матеріальних і людських втрат. Це потребує особливої уваги науковців задля підвищення надійності систем життєзабезпечення населення країни і зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій при сейсмічних впливах, а також для розрахункового забезпечення інженерів-конструкторів та проектувальників будівельних об'єктів у сейсмічних регіонах, що є дуже важливим для України.

Прямий динамічний розрахунок просторових рамних залізобетонних конструкцій з урахуванням нелінійної роботи і пластичних властивостей матеріалів на динамічні впливи різної природи є складним завданням. Існуючі програмні комплекси засновані на методі скінченних елементів, мають ряд вагомих недоліків, особливо у випадку неоднорідних матеріалів, що потребує альтернативних підходів.

Дисертаційна робота Фоміна Володимира Михайловича присвячена вирішенню саме цієї актуальної науково-технічної проблеми, пов'язаної з розробкою сучасних наукових основ і альтернативних методів розрахунку каркасних будівель і споруд, що зазнають дії динамічних навантажень.

2. Основні результати дослідження

У *першому розділі* подано огляд і аналіз результатів досліджень відомих вітчизняних і закордонних науковців стосовно поведінки з сейсмічними й іншими динамічними впливами на залізобетонні будівлі та споруди. Виявлено, що найбільш вразливими конструкційними системами щодо сейсмостійкості є залізобетонні каркасні споруди. Динамічні розрахунки таких будівель і споруд

122-1079
20 06 19

заслужують на пильну увагу науковців і проектувальників, на що автор вказує при виборі напрямку своїх досліджень.

Тому в розділі наводиться короткий історичний огляд вибору розрахункових моделей будівель і споруд та розвитку методів їх розрахунку на сейсмічні впливи під час землетрусів та інші хвильові процеси, коли спостерігається просторовий і нелінійний характер деформування елементів конструкційних систем. Наголошено, що розвиток динамічних методів розрахунку пов'язаний з урахуванням геометричної нелінійності конструкцій, фізичної нелінійності та пластичності матеріалів на основі скінченно-елементної моделі (МКЕ) будівлі.

Доречно зазначено, що ці апробовані методи розрахунку залізобетонних конструкцій є складними, оскільки потребують розв'язання системи рівнянь гігантських розмірів і великих обчислювальних і часових витрат. Тому автор запропонував альтернативні методи розв'язування поставлених задач, які засновані на методі малого параметра і методі граничних елементів (МГЕ).

У *другому розділі* розроблено метод розв'язання динамічних задач плоского згину для одновимірних моделей залізобетонних каркасних будівель, елементи яких чинять опір хвильовим процесам за незначного відхилення залежності між напруженнями і деформаціями від лінійної. В основу отримання розв'язків таких задач покладено відомий метод малого параметра. Автор чітко і послідовно наводить алгоритм реалізації запропонованого методу, починаючи з асимптотичних розкладів напружень, деформацій і переміщень в точках залізобетонної балки при плоскому згині в ряди за ступенями малого параметра. Далі автор методом малого параметра на основі деформаційної теорії пластичності обґрунтовує алгоритм побудови і аналітичного рішення диференціальних рівнянь згину першого (геометрична нелінійність) та другого (фізична нелінійність) наближень, а також отримує, необхідні для вирішення нелінійних задач динаміки залізобетонних балок і рам, конкретні залежності модулів об'ємного стиску і зсуву від компонентів тензора деформацій.

Проведено дослідження коливань одновимірної консольної одномасової моделі залізобетонної каркасної будівлі у вигляді консольного стрижня, жорстко закріпленого на ґрунтовій основі, який несе зосереджену масу, розташовану на вільному кінці, при здійсненні горизонтальних сейсмічних коливань за гармонійним законом зміни прискорення точки закріплення.

Третій розділ присвячено поширенню запропонованого у другому розділі метода дослідження динаміки залізобетонних балок з урахуванням нелінійних і пластичних властивостей бетону для випадків малої нелінійності на випадки великої нелінійності шляхом розбиття процесу згину на ряд етапів (кроків), в межах кожного з яких нелінійність виявляється малою. На кожному кроці знаходилися прирости прогинів, напружень і деформацій, що дозволило, враховуючи прирости попередніх кроків, визначати шукані параметри на довільному етапі навантаження. Це дало можливість застосування методу малого параметра для описання коливних впливів на будівлі у випадку широкого діапазону навантаження з виникненням великих амплітуд.

Досліджено динаміку одновимірної моделі залізобетонної каркасної споруди при сейсмічних впливах великої амплітуди.

У *четвертому розділі* дисертації розв'язано квазістатичні та динамічні задачі для одновимірних моделей залізобетонних каркасних споруд уже при складному навантаженні, що засновані на теорії пластичної течії з використанням модифікованого автором методу граничних елементів.

На основі таких підходів побудовано диференціальне рівняння плоского згину залізобетонної балки з урахуванням геометричної та фізичної нелінійностей і пластичності бетону для покрокового розв'язання задач динаміки будівель.

Використовуючи запропоновані в цьому розділі методи розрахунку подано результати дослідження динамічної стійкості одновимірної багатомасової моделі багатоповерхової залізобетонної каркасної будівлі у вигляді колони-консолі з системою зосереджених мас, що знаходиться під дією вертикальних сил тяжіння мас і змінних в часі гармонійно змінних горизонтальних сил. Виявлено явище динамічної нестійкості і параметричного резонансу котрий є більш загрозливим явищем, ніж звичайний резонанс.

П'ятий розділ присвячений розробці методології розв'язання плоских динамічних задач для двовимірних моделей залізобетонних каркасних споруд у вигляді залізобетонних багатопрольотних багатоповерхових рам, які знаходяться під дією системи змінних горизонтальних і вертикальних сил. Поклавши в основу розв'язання таких задач розроблений в попередньому розділі алгоритм методу граничних елементів для окремих стрижнів рами за умови дотримання заданих статичних і кінематичних умов окремих частин і рами в цілому, покроковим підходом отримано шукані переміщення і напруження в характерних точках рамного плоского каркасу.

Розв'язано коло квазістатичних і динамічних задач стосовно каркасних одно і багатоповерхових споруд при дії на них гармонійних сил, ударних і сейсмічних впливів. Зокрема, виконано прямий динамічний розрахунок причалу №19 Ізмаїльського морського торгового порту на сейсмічну дію, коли основі рами надавалися горизонтальні зміщення, прискорення яких змінювалися в часі відповідно до акселерограми.

Шостий розділ містить питання поширення запропонованого підходу до застосування методу граничних елементів на випадок розв'язання динамічних задач для просторових моделей залізобетонних каркасних споруд з використанням теорії пластичної течії. Подано поетапну побудову методу визначення параметрів впливу коливних дій на тривимірну рамну конструктивну систему, аналогічно з попередніми розділами. Спочатку отримано диференціальні рівняння просторового згину залізобетонної балки з урахуванням фізичної та геометричної нелінійностей і пластичності матеріалів при складному навантаженні, потім побудовано матриці фундаментальних рішень для отриманих рівнянь та матриці методу граничних елементів.

Можливості запропонованого методу продемонстровано на прикладах динамічного розрахунку різних конструктивних систем, що моделюють ті чи інші каркасні будівлі і споруди.

Сформульовані у роботі висновки цілком логічно виходять зі змісту дисертації та є достатньо аргументованими.

В цілому дисертація має чітку структуру, справляє враження завершеної актуальної роботи, що виконана на високому науковому рівні.

3. Наукова новизна дослідження та отриманих результатів

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає у створенні теоретичних основ нелінійних динамічних розрахункових моделей залізобетонних каркасних будівель і споруд з урахуванням пластичності матеріалів їх конструкцій, які призначені для роботи в складних умовах динамічних навантажень довільної природи. Зокрема, розроблено нову методологію розв'язування нелінійних пружно квазістатичних і динамічних задач із застосуванням методу малого параметра для одновимірних моделей залізобетонних каркасних будівель у випадках малої нелінійності матеріалів та обґрунтована можливість поширення такої методики для розв'язання подібних задач і у випадках великої нелінійності матеріалів.

Розроблено методику побудови диференціальних рівнянь нелінійного пружно-пластичного згину елементів плоских та просторових моделей залізобетонних каркасних будівель при складному динамічному навантаженні на основі теорії пластичної течії.

Для розв'язання отриманих диференціальних рівнянь автором модифіковано метод граничних елементів та проведено дослідження нелінійних пружно-пластичних статичних та динамічних задач для багатопверхових багатопрольотних каркасних будівель і морських причалів й отримано нові науково-практичні числові результати.

Розроблені автором методології дають можливість досліджувати перебіг хвильових нестационарних процесів та прогнозувати міцність елементів, що працюють в складних умовах з урахуванням геометричної нелінійності конструкції та фізичної нелінійності і пластичності матеріалів.

4. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій роботи

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується логічною послідовністю, коректністю та строгістю використання основних підходів методу граничних елементів та методу малого параметру нелінійних диференціальних рівнянь.

Високий рівень достовірності отриманих числових результатів та побудованих аналітичних інтегрально-диференціальних залежностей забезпечується використанням відомих апробованих теорій і моделей.

Обґрунтованість отриманих результатів базується на покладенні в основу досліджень фундаментальних положень нелінійної теорії пружності, математичної фізики, механіки деформівного твердого тіла та основ будівельної механіки, а також на порівнянні одержаних результатів із відомими експериментальними даними та розв'язками деяких класів задач, що отримані іншими методами.

5. Практичне значення одержаних наукових результатів

Значимість для науки та практики роботи полягає у розробленні нових методик і моделей розрахунку залізобетонних каркасних будівель і споруд при динамічних впливах різної природи, які спрямовані на забезпечення сейсмостійкості, точності результатів розрахунків і прогнозування їх міцності та надійності, зменшення витрат комп'ютерних ресурсів.

Результати дослідження є практичним вкладом у розвиток чисельного комп'ютерного розрахункового продукту, який реалізується в легкодоступних для широкого кола інженерів програмах без залучення дорогих і складних спеціальних комплексів, та є, таким чином, важливою ланкою в проектуванні й зведенні сейсмічно міцних і стійких каркасних залізобетонних будівель і споруд.

Результати роботи, отримані автором, знайшли безпосереднє впровадження в проектну практику при виконанні розрахунків каркасних будівель на сейсмічні впливи та у навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Тема дисертації і отримані результати відповідають актуальним напрямкам науково-технічної політики України і є частиною держбюджетних тем Одеської державної академії будівництва та архітектури.

6. Презентація результатів

Основні положення дисертаційної роботи з надмірною повнотою опубліковані у різних наукових вітчизняних і закордонних виданнях (44 наукові праці) – 23-х статтях у фахових спеціалізованих виданнях, затверджених ДАК України, 3-х статтях у журналах, що включені до міжнародних наукометричних баз, і 4-х у зарубіжних виданнях. Окрім цього опубліковано у фахових виданнях 7 праць, що додатково відображають результати дисертації.

В опублікованих працях в достатній мірі висвітлені наукові положення, основні висновки і рекомендації дисертаційної роботи.

Результати дослідження, викладені у дисертаційній роботі, доповідалися і обговорювалися на різних міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях і семінарах за спеціальністю 05.23.01 — будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Автореферат в повній мірі відображає основний зміст дисертації.

7. Зауваження по змісту та оформленню дисертації

1. Не коректно сформульований об'єкт дослідження. По суті, в роботі об'єктом дослідження є динамічні (сейсмічні) впливи на характер деформування залізобетонних каркасних будівель та споруд, а не самі будівлі та споруди.
2. Результати дослідження впровадженні в ПП «Стальпроект-24» стосуються розрахунку, мабуть, металевого сталюого каркасу. Тоді виникає питання щодо адаптації отриманого програмного продукту до розрахунку не залізобетонного каркасу, не заявленого в дисертації.
3. Не достатньо обґрунтовані порівняльні переваги і недоліки методу малого параметра та методу граничних елементів при дослідженні

коливань залізобетонних каркасних споруд, що затрудняє вибір того чи іншого алгоритму розв'язання практичних задач. Залишається також не повністю висвітленим аналіз раціональності й достовірності запропонованих підходів у зрівнянні з загальноприйнятими методами розрахунку.

4. Залізобетон є неоднорідним композитним матеріалом з бетонною матрицею та металевими фазами, що потребує додаткових вихідних даних або допущень, зокрема, щодо умов їх з'єднання (жорстке чи з прослизанням), розміщення фаз по перерізу при навантаженнях у двох площинах та характеру можливого утворення тріщин у бетоні. Слід було б конкретизувати способи врахування запропонованими методиками характерних особливостей залізобетону.
5. У тексті дисертації майже відсутній опис створеного програмного продукту, за яким проводилися нелінійні розрахунки залізобетонних каркасних будівель за дії нестационарного динамічного навантаження, що викликає певну невизначеність щодо типу модифікованого методу граничних елементів – чисельний, чисельно-аналітичний чи інший?

Наведені зауваження не є принциповими і не знижують наукову цінність й практичне значення дисертаційної роботи.

8. Відповідність роботи вимогам, установленим для докторських дисертацій, загальні висновки

Дисертація В.М. Фоміна за змістом відповідає спеціальності 05.23.01 — будівельні конструкції, будівлі та споруди і є комплексною та завершеною науковою працею. В дисертації вирішена конкретна науково-прикладна проблема — розроблені прямі динамічні методи розрахунку залізобетонних каркасних будинків і споруд, що враховують нелінійні і пластичні властивості матеріалів, із застосуванням модифікованого автором методу граничних елементів.

За обсягом виконаних досліджень, актуальністю, науковою новизною, достовірністю і практичною цінністю та впровадженням отриманих результатів у виробництво дисертаційна робота відповідає усім вимогам пунктів 9 та 10 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, затвердженого постановою кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор — Фомін Володимир Михайлович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 — будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри загальнотехнічних дисциплін
Полтавської державної аграрної академії,
доктор технічних наук, професор



О.В. Горик