

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Козака Андрія Анатолійовича

«Чисельна реалізація методу граничних інтегральних рівнянь у задачах про нестационарні коливання пружних елементів конструкцій»,  
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

**Актуальність теми дисертації.** Розробка ефективних чисельних методів аналізу нестационарних коливань пружних елементів конструкцій є важливою проблемою будівельної механіки. Відомо, що для вирішення такої проблеми може бути успішно використаний апарат теорії потенціалу, в рамках якого спочатку має бути розв'язана гранична задача, а вже потім визначені параметри НДС в точках, розташованих всередині розрахункової області. Чисельні процедури, створені з використанням такого підходу, що об'єднуються назвою метод граничних інтегральних рівнянь (ГІР), виглядають привабливими і конкурентноспроможними в тих випадках, коли кількість цих точок є невеликою, або взагалі можна обмежитись результатами розв'язання граничної задачі. Саме такі об'єкти і розглядаються в даній дисертаційній роботі.

З іншого боку, як показав проведений аналіз сучасного стану проблеми, існує досить великий науковий і практичний інтерес і водночас обмежена кількість робіт, присвячених застосуванню методу ГІР до аналізу нестационарних коливальних процесів в елементах конструкцій.

Все це і визначає актуальність проблеми, вирішення якої представляє значний науковий і практичний інтерес.

**Аналіз змісту дисертації.** Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додаток. Загальний обсяг дисертації становить 128 сторінок, на 110 сторінках з яких викладено основний текст роботи. Результати чисельних розрахунків відображені на 35 рисунках та в 10 таблицях. Список використаних джерел містить 163 назви. В додатку представлена довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи.

В представленій роботі методами обчислювальної механіки вирішується у двовимірній постановці проблема аналізу нестационарних коливань пружних елементів конструкцій.

У вступі обґрунтована актуальність теми, визначені мета і задачі досліджень, представлена загальна характеристика роботи.

В першому розділі сформульовані основні вихідні співвідношення задачі про нестационарні коливання масивів в стані плоскої деформації. Проведений огляд літературних джерел та надана оцінка теперішнього стану аналітичних і чисельних досліджень динамічних процесів в масивних елементах конструкцій, зокрема, тих, які проводяться з використанням методу ГР. Обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи.

В другому розділі побудовані і розглянуті алгоритми чисельного дослідження нестационарних коливань масивів з отворами. Отримані розв'язувальні співвідношення методу гранично-часових інтегральних рівнянь (МГЧІР) та побудовано алгоритм чисельного розв'язання задачі про розповсюдження в пружному середовищі хвиль зсуву. Шляхом розв'язання тестових задач підтверджена достовірність чисельних результатів, отриманих за допомогою розробленої і програмно реалізованої методики. Отримані співвідношення методу ГР, а також розроблені і програмно реалізовані дві методики чисельного дослідження нестационарних полів переміщень і напружень масивних елементів конструкцій, які знаходяться в стані плоскої деформації. Для реалізації підходу, який базується на переході в частотну область, запропонована нова методика обчислення сингулярних складових граничних інтегралів, яка основана на наближеному представленні компонент ядер інтегральних рівнянь відрізками рядів Маклорена.

В третьому розділі уточнені чисельні алгоритми та описані результати розв'язання задач про коливання простору з послабленнями. Отримано розв'язок задачі про нестационарні анти-плоскі коливання простору, послабленого двома циліндричними отворами. Досліджено залежність результатів розрахунку від відстані між отворами. В стані плоскої деформації за допомогою двох розроблених підходів проведений аналіз взаємного впливу двох близько

розташованих циліндричних отворів, границя одного з яких зазнає дії імпульсних навантажень різного характеру. Підтверджена достовірність результатів, отриманих за обома підходами та встановлена їхня однакова ефективність.

**Четвертий розділ** присвячено опису та аналізу результатів розв'язання прикладної задачі про динамічне ущільнення ґрунтового масиву, на який спирається трубопровід. Масив вважається пружним і знаходиться в стані плоскої деформації, а ділянки його поверхні зазнають дії напівсинусоїдальних імпульсів. Встановлено, що технологічні умови функціонування трубопроводу не порушуються прикладеним динамічним навантаженням.

**Науковий новизна.** Основні результати, що складають наукову новизну роботи, полягають у розробці на основі апарату теорії потенціалу і програмній реалізації двох методик чисельного дослідження нестационарних коливань пружних масивів з послабленнями. Одна методика використовує в якості алгоритмічної основи ГЧІР, а друга використовує перехід в частотну область. Встановлена однакова ефективність обох підходів. При цьому запропоновано новий чисельно-аналітичний підхід до обчислення сингулярних складових граничних інтегралів в задачах про гармонічні коливання пружних плоскодеформованих масивних об'єктів. Отримані розв'язувальні співвідношення та побудовано алгоритм дослідження з використанням ГЧІР нестационарних антиплоских коливань масивів з отворами. Чисельно розв'язана задача про нестационарні зсувні коливання простору, послабленого двома циліндричними отворами. Досліджено залежність результатів розрахунку від відстані між отворами.

**Достовірність результатів** обґрунтовується строгістю математичних перетворень, узгодженням чисельних результатів з аналітичними, збіжністю результатів, отриманих з використанням різних підходів та при згущенні сітки граничних елементів.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у програмній реалізації підходів до аналізу нестационарних коливань масивних елементів конструкцій, які знаходяться в стані плоскої деформації. Результати

дисертаційної роботи можуть бути використані в проектно-конструкторській та науковій практиці для визначення параметрів нестационарного динамічного НДС відповідальних деталей та елементів конструкцій.

**Публікації за темою дисертації.** Зміст дисертаційної роботи відображено в 12 публікаціях автора, з яких 7 статей у фахових наукових журналах і збірниках наукових праць. Робота пройшла апробацію на 5 міжнародних та вітчизняних наукових конференціях.

Зміст автореферату повно відображає основні положення дисертації, його оформлення відповідає всім вимогам.

По розглянутій дисертаційній роботі є наступні зауваження:

1. В огляді літературних джерел віддано належне можливостям, які надає для вирішення динамічних задач метод скінченних елементів, зокрема, такі його відомі програмні реалізації, як вітчизняні обчислювальні комплекси Lira і SCAD. Тому було би доцільним співставлення результатів автора з даними, отриманими за допомогою МСЕ-програм.

2. Вважаю, що при розв'язанні тестових прикладів було би доцільно розглянути не тільки хвильові процеси в безмежному середовищі, а також задачі про коливання тіл зі скінченними розмірами.

3. В науковій літературі досить часто зустрічаються приклади застосування методу ГР до задач лінійної механіки руйнування. На наш погляд, дисертація могла виграти, якби в ній були розглянуті задачі про нестационарні коливання пружних масивів, послаблених тріщинами, і питання визначення динамічних коефіцієнтів інтенсивності напружень.

Зроблені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку виконаних досліджень. Підходи, що розроблені і застосовані, є відображенням пошуку нових методів чисельного аналізу стаціонарних та нестационарних полів переміщень і напружень в пружних середовищах. Представлена дисертаційна робота Козака Андрія Анатолійовича «Чисельна реалізація методу граничних інтегральних рівнянь у задачах про нестационарні коливання пружних елементів конструкцій» виконана на високому науковому рівні, є завершеним дослідженням, в якому отримані нові наукові результати в галузі будівельної механіки, і відповідає вимогам, встановленим МОН України для кандидатських дисертацій.

Вважаю, що автор дисертації Козак Андрій Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

директор товариства з обмеженою

відповідальністю «ВЕГА КАД»

доктор технічних наук, старший наук. співробітник

 І.Д. Євзеров

«Підпис д.т.н., ст.наук.співр. І.Д. Євзерова засвідчую»

