

ВІДГУК



офіційного опонента
на дисертаційну роботу **Воропая Олексія Валерійовича**
«Використання інтегральних рівнянь Вольтерра
у нестационарних задачах динаміки пластин»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливої науково-технічної проблеми доповнення недостатньої інформації щодо дії нестационарних навантажень на елементи механічних систем. Цю проблему можна віднести до напрямку обернених задач механіки деформівного твердого тіла.

Мета дисертаційної роботи:

- розв'язання оберненої задачі про одночасну дію на пластину скінченного набору нестационарних довільних навантажень;
- розроблення спеціальних підходів для урахування дисипації енергії під час деформування елементів конструкцій.

На базі отриманого в загальному вигляді розв'язання оберненої задачі і розроблення універсального підходу, що використовує теорію інтегральних рівнянь Вольтерра, виконати розв'язання трьох класів актуальних задач:

- ідентифікації системи зовнішніх нестационарних навантажень;
- спільної ідентифікації зовнішніх навантажень і реакцій в задачі моделювання нестационарних коливань пластин із зосередженими особливостями (масами, гасниками коливань, додатковими опорами);
- визначення керуючих впливів в задачі управління нестационарними коливаннями пластини.

Актуальність теми дисертаційної роботи. При розробці елементів конструкцій та нових виробів в цілому в інженерії та зокрема в машинобудуванні актуальною є проблема недостатньої інформації про дії навантажень на механічні системи. Особливо суттєві проблеми виникають при нестационарному деформуванні елементів конструкцій. При дослідженні нестационарного деформування дуже важливо точно знати навантаження, тому що їх зміна в часі може значно впливати на процес деформування.

Розв'язок обернених задач визначення невідомих нестационарних навантажень при обробленні експериментальних даних може істотно знизити вартість і час досліджень та частково замінити реальні дослідження спеціальними обчислювальними експериментами, що може значно зменшити витрати.

Доповнення недостатньої інформації, щодо дії короткочасних імпульсних навантажень є дуже актуальним питанням, особливо, коли це пов'язано з забезпеченням безпеки життєдіяльності.

Надзвичайно актуальними є також задачі, які пов'язані з активним і пасивним віброзахистом елементів конструкцій та устаткування.

Робота виконана згідно з індивідуальним планом підготовки докторанта та щорічними планами науково-дослідної роботи кафедри, а також з робочими планами держбюджетних тем: "Створення методів математичного моделювання з управління нестационарними деформаційними процесами" і "Математичні основи експрес-аналізу механічних параметрів дорожнього покриття та дослідження його динамічних властивостей".

Коротка характеристика змісту роботи. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою. Вона складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і двох додатків. Загальний обсяг роботи – 359 сторінок, з яких основного тексту – 282 сторінки. Дисертація містить 165 рисунків. Список використаних джерел містить 300 найменувань на 36 сторінках. Додатки – 16 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету і задачі дослідження, зазначено основні наукові результати, наведено відомості про публікації та апробацію основних положень, а також кваліфікаційні ознаки дисертації.

У **першому розділі** здійснено огляд робіт за темою дисертаційної роботи, обумовлено вибір саме уточненої теорії пластини на базі гіпотез Тимошенка, наведено висновки, щодо напрямків наступних досліджень.

У **другому розділі** описано прикладні аспекти регуляризуючого алгоритму А. М. Тихонова, особливості його використання при розв'язанні некоректних нестационарних задач механіки, а також питання, пов'язані з вибором параметра регуляризації. Наведено приклад застосування алгоритму Тихонова для розв'язання оберненої некоректної задачі ідентифікації невідомого навантаження, яке викликає нестационарне деформування пластинчастого елемента конструкції. Описано особливості розв'язання систем інтегральних рівнянь, які можуть бути зведені до блокових систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Викладено методику до розв'язання цих блокових систем за допомогою спеціальних підходів, що базуються на використанні узагальнених алгоритмів Гаусса або Крамера у сукупності з методом регуляризації Тихонова.

У **третьому розділі** розглянуто складні нестационарні навантаження (мають не тільки поперечні, а й поздовжні складові), які діють на прямокутну пружну ізотропну пластину середньої товщини (в рамках уточненої теорії С. П. Тимошенка). Представлено теорію розв'язання прямої та оберненої задачі теорії пружності для скінченного набору незалежних нестационарних навантажень пластини. Наведено кілька прикладів обчислень з ідентифікації таких зовнішніх навантажень.

З наведених результатів видно, що запропонована методика, дозволяє одержувати досить стійкі розв'язання для систем інтегральних рівнянь, до яких зводиться розв'язання задачі ідентифікації законів зміни в часі декількох незалежних збурювальних навантажень, які діють одночасно на прямокутні пластини середньої товщини.

Викладено підхід щодо урахування пружної інерційної двосторонньої основи типу Власова-Леонтьєва.

У **четвертому розділі** описаний підхід, який дозволяє досліджувати нестационарне деформування пластинчастих елементів конструкцій при наявності зосереджених мас, додаткових опор і ребер жорсткості, вплив яких замінюється невідомими силами (реакціями). Детально розглянуті прямі та обернені задачі для нестационарних коливань:

- пластини з приєднаною зосередженою масою;
- пластини, що має додаткову лінійно-пружну опору;
- пластини з погашувачем коливань;
- пластини з додатковою в'язкопружною опорою.

Проаналізовано вплив кожної окремої особливості на процес нестационарного деформування прямокутної пластини.

Досліджено розподіл в'язкої та пружної складових у реакції додаткової в'язкопружної опори, що контактує з пластиною.

Ідентифікація невідомих реакцій виконується на основі розв'язання інтегральних рівнянь Вольтерра або їх систем. На основі запропонованого підходу є можливість одержувати стійкі аналітико-числові розв'язання задач механіки деформівного твердого тіла без використання ітераційних схем.

У **п'ятому розділі** показано можливість управління нестационарними коливаннями механічних системи, які складаються з прямокутних пластин та різних зосереджених особливостей за допомогою додаткових (керуючих) навантажень. Розглянуто задачі управління коливаннями в точці пластини для механічної системи пластина–зосереджена маса. Запропонована схема управління та алгоритм визначення керуючого впливу при розв'язанні оберненої задачі для механічної системи є ефективними і досить стійкими. Крім того, розглянута подібна задача, для випадку гасіння коливань в рамках пасивного віброзахисту.

Приведено розв'язання задачі управління поперечними коливаннями на невеликій області пластини за допомогою системи чотирьох додаткових керуючих впливів, закони зміни у часі яких визначаються. Досліджено можливість гасіння коливань по всій поверхні пластини скінченою системою керуючих навантажень.

У **шостому розділі** розглянуто моделі, які дозволяють враховувати дисипативні властивості матеріалу. Наведено приклади розрахунку поперечних коливань в'язкопружних пластин.

Для обґрунтування теоретичних результатів було проведені експериментальні дослідження поведінки прямокутної пластини середньої товщини при її ударному навантаженні.

У **висновках** приведено основні наукові і практичні результати, які одержані у дисертаційній роботі.

У **додатках** наведено список публікацій здобувача, а також копії трьох довідок про використання результатів дисертації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації і їх достовірність. Вибір вихідних співвідношень для опису розглянутих процесів деформування є повністю обґрунтованим.

Достовірність отриманих результатів обґрунтовується достатньою узгодженістю результатів розв'язання прямих і обернених задач, а також узгодженістю теоретичних та експериментальних результатів.

Наукова новизна роботи полягає в розробці нових ефективних підходів до розв'язування нестационарних обернених задач теорії пластин з використанням інтегральних рівнянь Вольтерра.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані нові підходи до розв'язування нестационарних динамічних задач для пластин можуть знайти застосування для оцінки роботоздатності відповідальних елементів конструкцій сучасної техніки.

Рекомендації щодо використання отриманих результатів. Теоретичні результати дисертаційної роботи можуть бути використані в науково-дослідних і виробничих організаціях.

Деякі результати дисертації вже знайшли застосування, про що свідчать наведені в роботі довідки про впровадження результатів у трьох організаціях.

Повнота викладених наукових положень та висновків

За темою дисертації опубліковано 51 наукову працю, серед яких дві монографії (одна одноосібна), 29 наукових статей, з них 28 статей у фахових виданнях України, 2 статті у загальновідомих міжнародних наукових журналах (International Journal of Solids and Structures, International Applied Mechanics /Прикладна механіка/) та 20 опублікованих тез доповідей та матеріалів конференцій. Апробація роботи – основні положення і результати наукових досліджень дисертаційної роботи Воропая О. В. доповідались та обговорювались на більш ніж 20 міжнародних конференціях та симпозіумах.

Публікації є по кожному з викладених в дисертації розділів.

Автореферат дисертації Воропая О. В. повністю відображає зміст і суть результатів досліджень, викладених в дисертації.

Матеріали і висновки кандидатської дисертації здобувачем не використовувались.

Оформлення дисертації. Дисертація є закінченою науковою працею, що виконана у вигляді підготовленого рукопису. Дисертація оформлена згідно вимог до оформлення. Стиль викладання наукового матеріалу забезпечує його чітке та однозначне розуміння.

По дисертації є такі зауваження:

1) Як відомо, при вимушених резонансних коливаннях непружних тіл може мати місце суттєве підвищення температури в результаті гістерезисних втрат, що може значно вплинути на коливальні процеси в таких тілах. Цей фактор не враховується в дисертації. Бажано було б дати коментарі з цього питання.

2) Для керування коливаннями тонкостінних елементів, в тому числі і для їх демпфування зараз ефективно застосовуються п'єзоелектричні сенсори та актуатори. В зв'язку з цим потрібно було б дати порівняння ефективності розглянутого в дисертації методу демпфування коливань з методом, оснований на використанні цих п'єзовключень.

3) В роботі розглядаються тільки однорідні, ізотропні пластини, хоча це ідеалізація більшість реальних елементів конструкцій мають дефекти внутрішньої мікроструктури або їх властивості можуть значно відрізнятись від напрямків навантаження.

4) Доцільно розв'язати більше задач у в'язкопружній постановці з використанням нового підходу наведеного наприкінці роботи, який використовує інтегральні оператори.

5) Не зважаючи на те, що дисертація написана технічно грамотно у ній є незначні граматичні помилки/описки. Так, наприклад, у словах скінченний, статей; Інститут механіки - пишеться то з великої, то з малої літери; замість слова Вступ автор вживає слово "Введення", тощо.

Безумовно, ці зауваження і деякі граматичні неточності не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи або мають характер побажань.

Висновок. Представлена до захисту дисертаційна робота Воропая О. В. є завершеною науковою працею, що має важливе наукове та практичне значення; в ній розв'язана актуальна наукова проблема дослідження нестационарних динамічних задач теорії пластин з використанням інтегральних рівнянь Вольтерра.

Таким чином дисертація «Використання інтегральних рівнянь Вольтерра у нестационарних задачах динаміки пластин» повністю відповідає вимогам МОН України щодо порядку присудження наукових ступенів, а її автор, Воропай Олексій Валерійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
провідний науковий співробітник
відділу динаміки та стійкості суцільних середовищ,
Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка
НАН України

С. Ю. Бабич

С. Ю. Бабич

Підпис д.т.н., проф. Бабича С. Ю. засвідчую

Учений секретар Інститут механіки
ім. С. П. Тимошенка НАН України
доктор фізико-математичних наук



О. П. Жук