

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Степанової Наталії Іванівни «**Обернені задачі ідентифікації силових впливів, включень та розрізів у тонкій пластині**», яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю – 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Розвиток сучасної техніки стимулює підвищений інтерес до розробки методик моніторингу дійсного стану тонкостінних елементів конструкцій з метою їх безпечного використання. Для оцінювання придатності конструкцій до подальшої експлуатації найважливішими є питання ідентифікації діючих у системі локальних навантажень, дефектів структури матеріалу, наявності яких супроводжується локальними концентраціями напружень та може призвести до передчасного руйнування конструкції.

Предметом дослідження дисертаційної роботи Н. І. Степанової є ідентифікація параметрів реальної моделі тонкої пластини за наявністю зосереджених силових впливів та дефектів структури матеріалу пластини у вигляді включень або розрізів методом обернених задач на основі результатів спостереження за її напружено-деформованим станом. Головною проблемою, з якою доводиться стикатися при розв'язанні обернених задач, є їх некоректність, тому питання побудови регуляризованих розв'язків набувають першорядне значення для практичних застосувань.

Актуальність поданої до захисту дисертаційної роботи визначається широтою застосувань тонких пластинчастих елементів та необхідністю мати обґрунтовані математичні моделі та зручні методи ідентифікації їх стану всюди, де оцінка реальної несучої здатності за вимірними характеристиками поточного стану в процесі експлуатації є ключовою.

Метою дисертаційної роботи є розробка методу обернених задач стосовно до спостережуваних тонких пластин для ідентифікації невідомих локальних силових впливів, включень та внутрішніх граничних контурів, дослідження особливостей процесу ідентифікації з залежності від параметрів силових впливів та дефектів.

Ступінь достовірності та обґрунтованості наукових положень та висновків. Аналіз змісту дисертації та публікацій за темою дослідження дає змогу зробити висновок про достатній ступень обґрунтованості наукових положень та висновків, що містяться у роботі та виносяться на захист. Обґрунтованість та достовірність представлених у роботі результатів забезпечено коректністю та строгістю математичних постановок розглянутих задач, використанням класичних аналітичних і числових методів, контрольованою точністю обчислень, тестуванням результатів, порівнянням результатів обчислювального експерименту з відомими аналітичними та числовими розв'язками.

Новизна одержаних результатів. До найбільш важливих результатів, що визначають наукову новизну роботи та виносяться на захист, варто віднести такі:

– вперше в рамках нелінійної теорії пластин із використанням методу обернених задач побудовано модель деформування тонкої пластини за наявності жорстких включень, лінійних розрізів, дії зосереджених сил, місце розташування та властивості яких підлягають визначенню за результатами одноразового вимірювання характеристик напружено-деформованого стану пластини;

– вперше для розв'язання оберненої задачі теорії пластин застосовано варіаційний підхід, що базується на формуванні повного функціонала енергії пластини з доданою умовою, яка визначає близькість дійсного та спостережуваного станів, для опису заздалегідь невідомих параметрів моделі пластини використано характеристичні функції;

– для порівняння спостережуваного стану пластини та стану, що визначається за допомогою математичної моделі, застосовано метрику, яка будується з використанням компонент узагальненої деформації;

– вперше розроблено та застосовано новий числовий метод, що поєднує скінченно-елементну дискретизацію моделі пластини, лінеаризацію за допомогою методу продовження по параметру навантаження, теорію оптимального розбиття множин та метод Ньютона-Рафсона для визначення параметрів моделі; побудовано двохетапний ітераційний алгоритм ідентифікації;

– розвинуто підхід щодо моделювання розрізу у пластині на основі моделі суцільної пластини з лінією, вздовж якої задано стрибки переміщень та кутів повороту, визначення яких відбувається із розв'язання оберненої задачі шляхом задоволення статичних умов на берегах розрізу;

– отримано числові розв'язки задач ідентифікації місця розташування жорстких включень та визначення їх фізико-механічних властивостей, задач реконструкції діючих у пластині навантажень та задач ідентифікації лінійних розрізів;

– досліджено процес ідентифікації в залежності від параметрів дефектів та їх взаємного розташування у пластині, досліджено стійкість розроблених алгоритмів щодо похибки у вхідних даних.

Всі результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, є новими і обґрунтованими.

Практична вагомість отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених математичних моделей, методів дослідження спостережуваних пластин, побудованих алгоритмів для моніторингу тонкостінних конструкцій, можливості безпосереднього використання результатів розв'язання обернених задач для оцінки дійсного стану тонких пластин у елементах конструкцій в умовах експлуатації.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях. Основні наукові результати дисертації опубліковано у 14 наукових працях, з них одна стаття у провідному міжнародному журналі, що входить до наукометричної бази Scopus, 4 статті у наукових виданнях, включених до переліку фахових видань, а також 9 тез доповідей і матеріалів всеукраїнських та міжнародних конференцій.

Окрім того, результати дисертації апробовано на міжнародних конференціях, які присвячено проблемам математичного та комп'ютерного моделювання, прикладної математики та механіки, стійкості систем:

Наведений перелік публікацій та їх зміст відповідають темі дисертації, в повному обсязі відображають її основні положення, наукові результати та висновки, свідчать про їх новизну. Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертації. В ньому достатньо повно відображені основні положення і висновки дисертації. У дисертації та авторефераті визначено особистий внесок дисертанта для тих друкованих праць, які опубліковано у співавторстві.

Дисертація є завершеною науковою роботою, виконаною на актуальну тему.

Мова дисертації чітка і зрозуміла, наукова термінологія вжита коректно, матеріал викладено послідовно та логічно.

Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано його мету та основні задачі, вказано методи, що використано для розв'язання задач ідентифікації, надано інформацію про практичне значення та апробацію результатів роботи, публікації за темою дисертації та особистий внесок здобувача.

Перший розділ роботи присвячено огляду літератури за темою дисертації та вибору напрямку дослідження, аналізу основних підходів до розв'язання задач ідентифікації дефектів та силових впливів у тонких пластинах, визначенню питань, що на даний час потребують подальшої розробки.

У *другому розділі* задачу ідентифікації локальних силових впливів, включень та розрізів у тонкій пластині сформульовано як обернену задачу. Напружено-деформований стан досліджуваної системи описано за допомогою нелінійної крайової задачі теорії пластин з урахуванням гіпотез Кірхгофа-Лява та із застосуванням нелінійних співвідношень теорії В. В. Новожилова. За допомогою введених характеристичних функцій обернену задачу ідентифікації параметрів моделі сформульовано як задачу мінімізації функціоналу повної енергії системи «пластина-зовнішні сили» при додатково заданих обмеженнях, що формулюються у формі рівностей та визначають близькість спостережуваного стану системи та стану, отриманого з використанням математичної моделі. Для оцінки близькості двох станів введено метрику, що характеризує середньоквадратичне ухилення розрахункових значень деформацій розтягування-стискання та деформацій згину від спостережуваних значень відповідних функцій.

У *третьому розділі* розроблено метод розв'язання поставленої оберненої задачі та побудовано алгоритм його реалізації. Для отримання розв'язків прямої та оберненої задач здійснено перехід до дискретної моделі пластини з використанням скінченно-елементної апроксимації, невідомі функції подано у вигляді векторів, компонентами яких є вузлові значення функцій задач.

Обернену задачу визначення параметрів моделі сформульовано як задачу оптимального розбиття множин, при цьому невідомі вектор-функції оберненої задачі виступають як характеристичні функції підмножин, що набирають бінарних значень $0, 1$ та визначають місце розташування областей пластини, у яких діють

силові впливи або присутні дефекти структури матеріалу у вигляді включень та розрізів.

Процедуру розв'язання оберненої задачі запропоновано виконувати у два етапи: на першому етапі визначається вектор невідомих оберненої задачі, що характеризує місце розташування областей, в яких наявні силові впливи або дефекти структури матеріалу; на другому етапі визначаються параметри виявлених дефектів та силових впливів із застосуванням методу локальної оптимізації.

У четвертому розділі запропонований підхід застосовано до ідентифікації жорстких включень та зосереджених силових впливів у тонких пластинах. Для дослідження можливостей запропонованого підходу отримано та проаналізовано числові розв'язки задачі ідентифікації жорстких включень для різних випадків їх взаємного розташування у пластині, розмірів включень та їх пружних властивостей. Також досліджено особливості процедури ідентифікації локального навантаження у тонкій пластині за різних значень параметрів моделі, проаналізовано залежність тривалості процедури ідентифікації та точності отриманих розв'язків від величини силових впливів та їх розташування відносно кромки пластини. Досліджено стійкість запропонованого підходу щодо збурення вхідних даних.

П'ятий розділ дисертаційної роботи присвячено ідентифікації лінійних розрізів у тонкій пластині. Розвинуто підхід до моделювання лінійного розрізу у пластині на основі моделі суцільної пластини з лінією, вздовж якої задано стрибки переміщень та кутів повороту. Запропоновано визначати стрибки переміщень та кутів повороту з розв'язання оберненої задачі шляхом задоволення заданих статичних умов на берегах розрізу. З використанням запропонованого способу моделювання розв'язано задачу ідентифікації розрізів у тонкій пластині. Досліджено ефективність запропонованого підходу в залежності від довжини розрізу та місця його розташування в пластині. Аналіз результатів обчислювальних експериментів показав, що з використанням моделі суцільної пластини з лінією можливе виявлення у тонкостінній системі дефектів у вигляді лінійних розрізів.

У висновках достатньо повно відображено отримані у дисертаційній роботі результати.

До дисертаційної роботи є наступні зауваження:

1. При розв'язанні задач ідентифікації значення спостережуваних деформацій було отримано шляхом розв'язання прямих задач за відомих параметрів моделі, після чого воно збурювалось. Зрозуміло, що значення компонент деформацій повинні задовольняти співвідношенням сумісності. З аналізу роботи не зрозуміло як перевірялось виконання цієї умови.

2. В роботі не розглянуто випадки, коли значення коефіцієнта Пуассона матеріалу пластини та включень не співпадають.

3. В авторефераті не вказано тип скінченного елемента, який використано при реалізації МСЕ, хоча в дисертації це детально описано.

4. У роботі не наведено залежність похибки розв'язку оберненої задачі від похибки розв'язку прямої задачі.

5. Автор дисертації стверджує, що розв'язується задача ідентифікації з використанням нелінійних геометричних співвідношень, проте явно не акцентує увагу про який конкретний вид нелінійності йдеться: «великі переміщення – малі кути повороту», «великі кути повороту проте малі деформації» тощо. Чи мається на увазі випадок скінченних переміщень проте малих деформацій?

6. В роботі введено, на мій погляд, не дуже вдалі позначення з точки зору механіки деформівного твердого тіла. Так вектор–функція узагальнених деформацій позначається символом σ , який, як правило, використовують для напружень. Потрійний рівень індексів (див., наприклад, формули (5.4) і (5.5) на стор. 150) також ускладнює сприйняття викладеного матеріалу.

Втім, вказані зауваження не впливають на позитивну загальну оцінку і мають рекомендаційний характер щодо подальших наукових досліджень дисертанта.

Загальний висновок по дисертації. На підставі вищенаведеного, вважаю, що дисертаційна робота Н. І. Степанової «Обернені задачі ідентифікації силових впливів, включень та розрізів у тонкій пластині» написана на досить високому математичному рівні і є логічним, завершеним самостійним науковим дослідженням на актуальну тему, основні положення якого є строго обґрунтованими, мають наукове значення та перспективи для продовження. Вона містить нові науково обґрунтовані результати у галузі механіки деформівного твердого тіла, які в сукупності вирішують важливу науково-прикладну проблему ідентифікації дефектів та навантажень у тонких пластинках. За актуальністю теми, науковим рівнем, новизною, теоретичним та практичним значенням результатів, повнотою їх викладення у публікаціях дисертаційна робота «Обернені задачі ідентифікації силових впливів, включень та розрізів у тонкій пластині» повністю відповідає вимогам п. 11 і п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 року, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор – **Степанова Наталія Іванівна** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – Механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри теоретичної та прикладної механіки
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка МОН України
доктор фізико-математичних наук, професор

Я.О. Жук

