

ВІДГУК

офіційного опонента,

доктора технічних наук, професора, професора кафедри математики та інформатики Державного закладу «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка» (м. Полтава)

Козуба Юрія Гордійовича

на дисертаційну роботу Мартинюка Івана Юрійовича **«Напіваналітичний метод скінчених елементів в задачах деформування, континуального руйнування та формозмінення просторових тіл неканонічної форми та складної структури»**,

яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

Актуальність теми. Експлуатація багатьох відповідальних об'єктів машинобудування відбувається в умовах тривалого термосилового навантаження. В цьому випадку нерідко реалізуються процеси континуального руйнування окремих елементів. Значну кількість таких тіл можна розглядати як просторові тіла неканонічної форми та складної структури. Їх розрахунок призводить до необхідності розв'язання тривимірних задач геометрично нелінійного та в'язкопружнопластичного деформування з урахуванням накопичення пошкодженості матеріалу та задач континуальної механіки руйнування із визначення ресурсу. Окремий клас задач становлять процеси обробки металів тисненням, математичне моделювання яких потребує обов'язкового урахування розвитку великих незворотних деформацій пластичності та повзучості. Огляд літературних джерел показує відсутність публікацій, присвячених розробці на основі методу скінчених елементів (МСЕ) узагальненого підходу до розв'язку зазначених класів задач і тим більше до їх комбінацій.

Резюмуючи можна стверджувати, що вибраний напрямок досліджень є перспективним, а обрана тема дисертації і поставлені в ній завдання щодо розв'язання задач геометрично та фізично нелінійного деформування, континуального руйнування тіл складної форми та структури при термосиловому навантаженні на основі напіваналітичного методу скінчених

елементів є актуальними.

Результати дисертації використані в держбюджетних науково-дослідних роботах, що виконувались в НДІБМ КНУБА. Результати дисертації використані в навчальному процесі при виконанні магістерських робіт.

Дисертація складається зі вступу, який включає в себе анотацію, семи розділів, списку літературних джерел, висновків і додатків про впровадження результатів дисертаційної роботи.

В першому розділі узагальнено дані, отримані в результаті аналізу літературних джерел щодо існуючих підходів і методів розв'язання задач деформування, а також континуального та дискретного руйнування тіл обертання неканонічної форми та структури за умов температурного, статичного навантаження. Проведений аналіз створює підґрунтя для чіткішого формулювання фізично та геометрично нелінійних задач деформування і руйнування, визначення відповідних вихідних співвідношень, а також обґрунтованого вибору найбільш ефективних чисельних методів їх розв'язання..

У другому розділі і третьому розділах представлено базові співвідношення теорії пружності, пружно-пластичності та повзучості з урахуванням пошкоджуваності матеріалу. Наведено вирази для обчислення вузлових реакцій і визначення коефіцієнтів матриці жорсткості скінченних елементів за умов використання як змінних, так і усереднених механічних та геометричних характеристик при представленні переміщень із використанням рядів Фур'є і поліномів. Розглянуто алгоритмічну реалізацію розв'язання систем лінійних та нелінійних алгебраїчних рівнянь, що виникають у процесі чисельного моделювання напружено-деформованого стану. На основі розв'язків тестових задач обґрунтовано вибір раціональної системи координатних функцій, застосованої для поліноміальної апроксимації поля переміщень, з урахуванням вимог до точності обчислень та стабільності чисельного розв'язання.

В четвертому розділі сформульовано розв'язувальні рівняння напіваналітичного методу скінченних елементів, адаптованого для аналізу геометрично нелінійних задач механіки деформівного тіла. Розглянуто криволінійний неоднорідний призматичний скінченний елемент, конструкція якого дозволяє враховувати складну геометрію та матеріальну

неоднорідність. Наведено відповідні співвідношення з урахуванням формозмінного деформування, що забезпечують підвищену точність у моделюванні реальних конструкцій.

В п'ятому розділі детально описано організацію та структуру програмного комплексу PRIZMA, який базується на НМСЕ та орієнтований на розрахунки пружного і пружно-пластичного деформування складних просторових конструкцій. Розроблена структура комплексу забезпечує автоматизацію основних етапів чисельного аналізу, зокрема введення вихідних даних, дискретизації об'єкта, розв'язання систем лінійних та нелінійних рівнянь, обробки й виведення результатів. У розділі продемонстровано гнучкість комплексу PRIZMA, що забезпечується модульною організацією основних алгоритмів, можливістю використання різних методів дискретизації, а також універсальністю у представленні результатів.

У шостому розділі приведені результати тестових задач розв'язки яких отримані на основі наведених в попередніх розділах співвідношень НМСЕ для задач в'язкопружнопластичності. Виконані контрольні розрахунки, зокрема задачі Бусінеска та задачі пружно-пластичної рівноваги нескінченної смуги прямокутного перерізу, показали, що результати, отримані методом НМСЕ, корелюють із даними традиційного МСЕ. У ході дослідження пластичних деформацій тонкостінних і масивних конструкцій, таких як шарнірно закріплені балки та призматичні бруси складного поперечного перерізу, розроблений програмний комплекс продемонстрував високу стабільність і збіжність результатів навіть за умов значного розвитку пластичних деформацій. Таким чином, запропонована методика та програмний комплекс мають високий науковий і практичний потенціал, що дозволяє їх ефективно застосовувати для чисельного аналізу складних конструкцій із довільними граничними умовами.

У сьомому розділі на основі розроблених методів розв'язані практичні задачі. До даного розділу увійшли сім об'єктів. У цьому розділі розглянуто широкий спектр задач, пов'язаних із визначенням напружено-деформованого стану конструктивних елементів під час експлуатаційного навантаження. Проведені дослідження підтвердили ефективність запропонованого підходу для розв'язання просторових задач, що мають практичне значення, з

модельовання пружного та пружно-пластичного деформування призматичних тіл складної геометричної форми.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації і їх достовірність. Вибір вихідних співвідношень для опису розглянутих процесів деформування є повністю обґрунтованим. Прийняті співвідношення дозволяють визначати зони континуального руйнування в зазначених умовах деформування. Достовірність отриманих результатів обґрунтовується дослідженнями їх збіжності при згущенні дискретної моделі, а при нелінійному деформуванні - збіжністю результатів розрахунку при зменшенні кроку навантаження. Крім того, отримані результати порівнювались із результатами, наведеними в роботах інших авторів.

Наукова новизна роботи полягає в розробці нових ефективних чисельних підходів до оцінки напружено-деформованого стану та ресурсу просторових тіл неканонічної форми та складної структури при термосиловому навантаженні з урахуванням фізичної та геометричної нелінійності. Отримані розв'язувальні співвідношення НМСЕ для нових типів скінченних елементів; вдосконалено алгоритми розв'язання систем лінійних та нелінійних рівнянь; отримано нові розв'язки прикладних задач, які демонструють можливості розроблених методів і можуть бути використаними при визначенні напружено-деформованого стану та ресурсу елементів конструкцій сучасної техніки.

Практичне значення. В результаті виконання роботи розроблено нові підходи дослідження напружено-деформованого стану та ресурсу просторових тіл неканонічної форми та складної структури. Розроблені підходи мають програмну реалізацію, що може бути використаним при виконанні науково-дослідних робіт та студентами при виконанні досліджень в межах кваліфікаційних робіт магістра.

Рекомендації щодо використання отриманих результатів.

Теоретичні результати дисертаційної роботи можуть бути використані у подальшому розвитку теоретичної бази НМСЕ. Результати дисертаційної роботи можуть бути впровадженими в інші програмні комплекси, в яких розв'язання задач про визначення НДС виконується на основі МСЕ.

Оцінка змісту і оформлення роботи. Робота виконана на високому науковому рівні, написана технічно грамотно, що дозволяє скласти повне уявлення про суть і результати дослідження. Викладення матеріалу логічне і

послідовне, висновки по розділах і в цілому по дисертації базуються на результатах досліджень і їх аналізі. Достовірність висновків не викликає сумнівів. Зміст дисертації з достатньою повнотою відображено в авторефераті та 33 публікаціях автора, що включають монографію, та 23 публікації у фахових виданнях. Результати доповідались на наукових конференціях.

Текст автореферату відповідає змісту дисертації і повністю його відображає.

Матеріали і висновки кандидатської дисертації здобувачем не використовувались.

Зауваження до змісту дисертації та її оформлення.

1. У висновках недостатньо висвітлені досягнення в царині розробки методики розв'язку геометрично нелінійних задач

2. В роботі не вказані обмеження на діапазон температур та матеріали, для яких може бути застосована розроблена методика.

3. В розділі 7 розглянуто задачу, яка передбачає моделювання тертя на поверхнях об'єкта. При цьому в дисертації недостатньо повно представлена методика розрахунку конструкцій з контактуючими елементами з урахуванням тертя, не наведено даних про її апробацію. Зокрема не висвітлено питання обмежень або можливостей, щодо моделювання при різних значеннях коефіцієнта тертя. Пропонований підхід скоріше за все є достовірним для конструкцій з невеликими абсолютними величинами коефіцієнта тертя, коли злипання відсутнє. Для випадку, коли присутнє злипання по частині поверхні методика розрахунку значно складніша.

4. На ряді рисунків відсутні позначення осей, що ускладнює їх розуміння.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Висновок. Представлена до захисту дисертаційна робота І.Ю. Мартинюка є завершеною науково-дослідною роботою, що має важливе наукове та практичне значення та в якій розв'язана актуальна наукова проблема з розробки на основі напіваналітичного методу скінчених елементів ефективного чисельного підходу до розв'язання задач геометрично та фізично

нелінійного деформування, континуального руйнування просторових тіл неканонічної форми та складної структури.

Таким чином, дисертаційна робота «Напіваналітичний метод скінчених елементів в задачах деформування, континуального руйнування та формозмінення просторових тіл неканонічної форми та складної структури» відповідає вимогам МОН України щодо порядку присудження наукових ступенів, а її автор Мартинюк Іван Юрійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» (05.23.17 – будівельна механіка).

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри математики
та інформатики Державного закладу
«Луганський національний університет
імені Тараса Шевченка» (м. Полтава)



Юрій КОЗУБ

Підпис д.т.н., проф. Ю.Г. Козуба засвідчую
учений секретар Державного закладу
«Луганський національний університет
імені Тараса Шевченка»
кандидат історичних наук, доцент



Ольга ДРОБИШЕВА