

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Вабіщевича Максима Олеговича

«Чисельне моделювання процесів нелінійного деформування неоднорідних просторових тіл з урахуванням появи та розповсюдження тріщини в умовах динамічного навантаження»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

Актуальність теми дисертації. Сучасне поширення чисельних методів насамперед пов'язане з розвитком метода скінченних елементів (МСЕ), який широко увійшов у практику наукових та інженерних установ. Однак застосування традиційного МСЕ при дослідженні поведінки просторових об'єктів викликає значні математичні та обчислювальні труднощі, які пов'язані не тільки з необхідністю розв'язання систем рівнянь великих порядків, але і з необхідністю урахування різноманітних механічних факторів, що супроводжують деформування конструкцій в процесі їх експлуатації. Тому, особливо за останній час, отримали розповсюдження альтернативні методики, які орієнтуються на особливості форми конструкцій, дозволяють значно підвищити продуктивність МСЕ, охоплюючи при цьому досить широкі класи просторових об'єктів. Одним із таких підходів є напіваналітичний метод скінченних елементів (НМСЕ).

Тенденції розвитку механіки деформівного твердого тіла та будівельної механіки, як прикладної науки, близько пов'язані з потребами ведучих галузей народного господарства, для яких є характерним перехід до нових інтенсивних технологій, що використовують можливі ефекти взаємодії об'єктів та дії силових полів різноманітної фізичної природи. При цьому конструкції споруд, машин і апаратів знаходяться під дією динамічних навантажень в екстремальних умовах роботи матеріалів. Все більш високі потреби до надійності і економічності конструкцій ведуть до

необхідності використання матеріалів, які відрізняються ярко вираженими нелінійними механічними характеристиками. Крім того, одним з важливих питань є визначення можливості експлуатації відповідальних елементів конструкцій при наявності в них тріщин. Все це визначає актуальність поставленої проблеми, вирішення якої представляє значний практичний інтерес.

Аналіз змісту дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновку, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертації становить 326 сторінок. Дисертація містить 154 рисунки та 13 таблиць. Список використаних джерел нараховує 375 назв.

В представленій роботі розглядаються просторові задачі динамічного пружнопластичного деформування і руйнування неоднорідних тіл обертання і призматичних тіл складної конфігурації і структури з урахуванням контактної взаємодії, пластичних деформацій, наявності та росту тріщин.

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

В першому розділі подано огляд підходів пружнопластичного деформування та руйнування просторових тіл в задачах динаміки. На основі проведеного огляду літературних джерел показана недостатність висвітлення в наукових публікаціях проблеми розв'язання на основі МСЕ фізично нелінійних задач динаміки для неоднорідних просторових тіл з можливістю урахування контактної взаємодії, пластичних деформацій та тріщин.

У другому розділі наведені узагальнені вихідні співвідношення теорії пружнопластичності для просторових неоднорідних тіл обертання та призматичних тіл з урахуванням змінних у часі зон контактної взаємодії, наявності стаціонарних або рухомих тріщин під дією динамічних навантажень. Представлений класичний набір геометричних, фізичних рівнянь та рівнянь динамічної рівноваги, доповнений визначеннями параметрів механіки руйнування, що у повній мірі і математично коректно відображає поставлену задачу.

У третьому розділі розглянуті базові скінченноелементні моделі для просторових неоднорідних тіл з довільними граничними умовами в задачах динаміки, на основі яких отримані розрахункові співвідношення НМСЕ. Дискретизація неоднорідних тіл обертання і призматичних тіл із змінними фізичними параметрами проводиться в межах поперечного перерізу. Вздовж утворюючої застосовується один скінченний елемент, в межах якого розподіл відомих і невідомих описується системами базових функцій Фур'є або Лагранжа та Міхліна.

Четвертий розділ присвячено побудові спеціальних скінченних елементів, що враховують фізично нелінійну роботу матеріалу та наявність тріщини. При розв'язанні контактних задач використані моделі типу "поверхня-поверхня", що забезпечують умови непроникнення, тертя на основі закону Кулона та відсутність розтягуючих напружень нормальних до поверхні контакту. Особливу увагу приділено аналізу ефективності побудованих матриць жорсткості та мас НМСЕ та алгоритмів розв'язання систем алгебраїчних рівнянь в задачах лінійного і нелінійного динамічного деформування.

У п'ятому розділі викладені результати досліджень задач динаміки руйнування в умовах пружнопластичного деформування. Розглянуті підходи до визначення J-інтеграла в дискретних моделях МСЕ на основі метода реакцій для нелінійних задач динаміки, ефективні методики апроксимації стаціонарних тріщин та алгоритми обчислення параметрів механіки руйнування на основі НМСЕ. Проведено аналіз меж ефективного використання запропонованих алгоритмів.

В шостому розділі розглянуто особливості чисельного дослідження розвитку тріщин на базі розроблених проблемноорієнтованих скінчених елементів. Представлено покроковий алгоритм моделювання траєкторії розвитку тріщини. Можливості методики демонструються на основі розв'язання низки цікавих практичних задач. Порівняння із існуючими розв'язками та експериментальними даними підтверджують високу достовірність отриманих результатів.

Наукова новизна. Основні результати, що складають наукову новизну роботи полягають у створенні на основі напіваналітичного методу скінченних елементів нового ефективного підходу до чисельного моделювання динамічного пружнопластичного деформування і руйнування неоднорідних тіл обертання і призматичних тіл складної конфігурації і структури з урахуванням контактної взаємодії, пластичних деформацій, наявності та росту тріщин. Вперше отримані розв'язувальні співвідношення НМСЕ для призматичних тіл та тіл обертання з довільними граничними умовами, що знаходяться під дією динамічного навантаження. Запропоновані і реалізовані єдині ефективні алгоритми розв'язання фізично і конструктивно нелінійних задач механіки руйнування в умовах динамічного навантаження з урахуванням наявності тріщини та її росту. Побудовані алгоритми динамічного розвитку тріщин в умовах статичного і динамічного силового або кінематичного навантаження.

Достовірність результатів базується на різноплановому тестуванні запропонованих алгоритмів при використанні великої кількості контрольних прикладів, що охоплюють процеси і об'єкти, які розглядаються.

Практичне значення роботи. Розглянута дисертація містить значну кількість нових наукових результатів, які можуть бути корисними для наукових працівників, фахівців в області чисельних методів, інженерів-проектувальників, викладачів, аспірантів, студентів вищих навчальних закладів технічного профілю. Представлені матеріали можуть бути використані у проектно-конструкторських і наукових установах машинобудівної, енергетичної, будівельної та інших галузях народного господарства при розрахунках відповідальних елементів конструкцій як на стадії проектування так і при аналізі елементів існуючих будівель і споруд.

Публікації за темою дисертації. 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. Вірогідність висновків не викликає сумнівів. Дисертація пройшла апробацію на наукових та науково-практичних конференціях, її зміст відображений у 26 публікаціях автора, 15 з яких – статті у наукових фахових виданнях України, 3 – в журналах, які включені до міжнародних наукометричних баз, 6 – публікації по доповідям на міжнародних і вітчизняних конференціях. Okремо треба відмітити 2 монографії за профілем дисертації.

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

По розглянутій дисертаційній роботі є наступні зауваження:

1. Постановка задач динаміки здійснена та реалізована для різних типів силового та кінематичного нестационарного навантаження, однак в тексті дисертації не обговорюються питання швидкості його прикладання. Існує досить багато алгоритмів інтегрування вихідних рівнянь руху за часом, вибір яких залежить від зазначеного параметру та у значній мірі визначає ефективність підходу.

2. Опис невідомих задач вздовж однієї з просторових координат на основі аналітичних функцій ставить проблему точного задоволення граничним умовам і потребує додаткових рівнянь. В цьому сенсі виникає питання про деякі обмеження представлених скінченноелементних моделей на базі рядів Фур'є, Лагранжа та Міхліна. Крім того, потребує роз'яснення термін «шарнірна опора» для просторових призматичних тіл.

3. Експериментальні дослідження фрагменту підземної галереї печер Києво-Печерської лаври показують реалізацію декількох областей тріщиноутворення. Крім того, структура тріщин має декілька гілок. При чисельному розв'язанні задачі автор обмежується моделлю однієї класичної тріщини. Така постановка викликана обмеженнями методики? Було б цікаво, зробити оцінку взаємного впливу декількох одночасно існуючих тріщин та умов утворення їх розгалуджень.

Зазначені зауваження та побажання мають на меті уточнення отриманих автором наукових та практичних результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку виконаних досліджень.

Висновок. Дисертаційна робота Вабіщевича Максима Олеговича «Чисельне моделювання процесів нелінійного деформування неоднорідних просторових тіл з урахуванням появи та розповсюдження тріщини в умовах динамічного навантаження» виконана на високому науковому рівні, є завершеним дослідженням, в якому отримані нові наукові результати в галузі будівельної механіки. По теоретичному рівню, новизні отриманих результатів, їх практичній значимості представлена дисертаційна робота відповідає вимогам, встановленим МОН України щодо порядку присудження наукових ступенів для докторських дисертацій. Автор дисертації Вабіщевич Максим Олегович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор
завідувач відділу термопружності
Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка
НАН України



В.Г.Карнаухов

Підпис В.Г. Карнаухова засвідчую.

Вчений секретар
Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України
доктор фіз.-мат. наук



О.П. Жук