

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Вабіщевича М.О. “Чисельне моделювання процесів нелінійного деформування неоднорідних просторових тіл з урахуванням появи та розповсюдження тріщини в умовах динамічного навантаження”, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

В останні десятиріччя розвиток науки і техніки багато в чому пов'язаний з дослідженням динамічних процесів. Точні аналітичні розв'язки рівнянь, якими описуються коливання неоднорідних пружних середовищ, вдається отримати лише для окремих частинних випадків. Задачі для систем лінійних або нелінійних динамічних рівнянь з коефіцієнтами загального вигляду, а також в областях довільної форми розв'язати за допомогою точних методів досить складно або навіть неможливо. Необхідність задоволення жорстким нормам безпеки в різноманітних галузях народного господарства, бажання створювати оптимальні рішення з точки зору вартості розробки та подальшої експлуатації запроектованих об'єктів веде до розгляду складних просторових задач динаміки при наявності різноманітних супутніх факторів, що ускладнюють аналіз їх поведінки. До них відносяться змінність фізико-механічних характеристик, невизначені заздалегідь зони контактної взаємодії, наявність тріщин. Тому найбільш ефективно досліджувати такі задачі чисельними методами із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

На даний час найбільш розповсюдженими методами дискретизації задач механіки є метод скінченних різниць, метод скінченних елементів (МСЕ), метод граничних елементів. Для нелінійних задач механіки МСЕ є найбільш ефективним і домінуючим. Він може застосовуватись при дослідженні скінченних деформацій фізично нелінійних анізотропних середовищ будь-якої геометричної форми при довільних крайових умовах. Однак слід зауважити, що розвиток альтернативних підходів, які орієнтовані на деякий визначений клас об'єктів, дозволяють швидко та без зайвих витрат проводити чисельні експерименти, одержуючи динамічну реакцію системи.

Розглянуті в роботі об'єкти – просторові тіла обертання та призматичні тіла, що широко використовуються в якості природних конструкцій, вузлів та

деталей в будівництві і різноманітних областях машинобудування. Найбільш відомим підходом до аналізу напружено-деформованого стану зазначених просторових тіл є напіваналітичний метод скінченних елементів (НМСЕ), розвиток якого є одним із важливих напрямків діяльності Науково-дослідного інституту будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури.

Базуючись на значному досвіді вирішення задач статичного і динамічного аналізу, континуальної механіки руйнування в умовах повзучості, процесів нелінійного деформування залізобетонних конструкцій, автор пропонує розвиток НМСЕ на широкий клас задач динаміки руйнування просторових тіл, що знаходяться під дією стаціонарних і нестаціонарних кінематичних або силових зовнішніх впливів. В дисертаційній роботі Вабіщевича М.О. наведені результати досліджень тріщиностійкості призматичних та кругових тіл з довільними граничними умовами при динамічному навантаженні, задачі динамічного розвитку тріщин. Обговорюються особливості реалізації відомих чисельних процедур інтегрування рівнянь руху за часом в схемі напіваналітичного метода скінченних елементів. Докладно висвітлені задачі нелінійного (пружнопластичного) деформування просторових тіл із тріщинами при інтенсивному динамічному навантаженні. Представлені алгоритми моделювання змінних у часі зон контактної взаємодії окремих елементів системи тіл. Пропонуються нові підходи до визначення динамічних параметрів тріщиностійкості.

Безумовно, представлені матеріали викликають науковий і практичний інтерес та являють собою вирішення **актуальної проблеми** будівельної механіки.

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури в межах держбюджетних і відомчих науково-дослідних робіт, що виконувались в цьому закладі.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у створенні на основі напіваналітичного методу скінченних елементів ефективного чисельного підходу до розв'язання просторових задач пружнопластичного динамічного деформування тіл обертання та призматичних тіл з тріщинами, при цьому, можливістю урахування контактної взаємодії окремих елементів конструкції, наявності в них тріщин та їх динамічного розповсюдження.

Достовірність наукових результатів дисертаційної роботи підтверджується порівнянням отримуваних результатів із відомими з літератури експериментальними даними та розв'язками тестових задач, дослідженням збіжності отримуваних результатів як по просторовим так і по часовій координатам.

Дисертація складається зі вступу, шести розділів, списку літературних джерел, висновків і значного додатку впроваджень, який містить документи, що підтверджують використання результатів роботи.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими планами, сформульовані мета та задачі досліджень, визначені наукова новизна й практичне значення, обґрунтована достовірність і наведені дані про апробацію результатів дисертації і особистий внесок здобувача.

У першому та другому розділах подано детальний огляд літератури за темою дисертації, постановка проблеми, опис основних ідей підходу до розв'язання стаціонарних і нестаціонарних задач механіки руйнування. Проведено аналіз відомих рівнянь пружного та пружнопластичного деформування тіл із тріщинами в умовах динамічного навантаження. Дані оцінки різним параметрам тріщиностійкості.

У третьому розділі розглянуті нові скінченні елементи (СЕ) для неоднорідних тіл обертання та призматичних тіл з урахуванням інерційних сил при різних граничних умовах, що дозволило значно розширити клас досліджуваних об'єктів. Побудовані розрахункові співвідношення загального вигляду та їх частинних випадків. Проведено тестування запропонованих СЕ та порівняння з існуючими скінченноелементними базами відомих розрахункових комплексів.

Четвертий розділ присвячено розробці проблемно-орієнтованих скінченних елементів для розв'язання задач динаміки в рамках напіваналітичного МСЕ. Запропоновані алгоритми розв'язання великих систем алгебраїчних рівнянь в задачах лінійного і нелінійного динамічного деформування, проведено аналіз їх ефективності. Для урахування фізично нелінійної роботи матеріалу в задачах динаміки за вихідні прийняті співвідношення теорії пластичної течії із ізотропним зміцненням при умові текучості Мізеса. Аналіз контактної взаємодії між елементами конструкцій або із зовнішніми обмежувачами базується на введенні в області взаємодії спеціального додаткового контактного шару. Окремо виділено скінченний

елемент з тріщиною, для якого детально прописані формули корекції базової матриці жорсткості. Такий підхід дозволяє розглядати системи тіл як одне ціле, та природно переходить від одного типу елемента до іншого, що значно спрощує чисельні процедури при реалізації запропонованих алгоритмів динамічного розвитку тріщини.

В п'ятому розділі обговорюються задачі динаміки руйнування в умовах пружнопластичного деформування. За основу прийняті відомі підходи лінійної механіки руйнування, які здобувач адаптує до вирішення пружнопластичних задач та доводить достовірність та ефективність, отриманих на їх основі результатів.

Шостий розділ присвячено вирішенню складної задачі динамічного розвитку тріщини. Окрім класичних параметрів механіки руйнування, такі процеси характеризуються також швидкістю розповсюдження тріщини, часом останки або виходу на вільну поверхню. Представлені алгоритми визначення траєкторії тріщини. Для обчислення параметрів механіки руйнування природно застосовуються енергетичні методи. Наведено багато тестових прикладів із досить гарною збіжністю до відомих чисельних розв'язків та експериментальних даних. Вирішені практичні прикладні задачі, для яких отримані нові результати.

У висновках сформульовані основні результати дисертації.

По дисертаційній роботі можна висловити наступні зауваження.

1. В дисертації розглянуто підходи до розв'язання динамічних задач механіки руйнування на основі відомих енергетичних параметрів. На сьогоднішній день для нелінійних задач динаміки обговорюються альтернативні інтеграл незалежні від шляху інтегрування для визначення параметрів тріщиностійкості. Чим обмовлений вибір автора в цьому випадку?

2. При аналізі процесів пружнопластичного деформування не обговорюються питання зміцнення матеріалів. Тут потрібні додаткові пояснення.

3. Для апроксимації тіл із тріщинами розроблено спеціальний скінченний елемент, для якого виконуються умови рівності нулю нормальних та дотичних напружень, але по тексту дисертації не ясно чи враховуються умови непроникнення на берегах тріщини при проходженні хвиль напружень різних знаків.

4. При розв'язанні задач механіки руйнування недостатньо висвітлено питання обґрунтованого вибору виразу для обчислення J-інтегралу з урахуванням інерційних складових.

5. Запропонований алгоритм урахування контактної взаємодії для задач динаміки при змінах конфігурації зон контакту може призводити до зміни, хоча і в незначній мірі, маси системи, що в свою чергу впливає не тільки на динамічні характеристики, але і на поведінку ітераційних алгоритмів розв'язання систем алгебраїчних рівнянь. Хотілося б почути висновки про особливості або обмеження використання такого підходу?

Зроблені зауваження не впливають на загальну **позитивну оцінку** одержаних у дисертації результатів.

Практичне значення результатів роботи і використання результатів досліджень.

Результати виконання дисертаційного дослідження активно використані в науково-дослідних роботах і в навчальному процесі на кафедрі будівельної механіки КНУБА, а також знайшли застосування в науково-практичній діяльності по вирішенню сучасних проблем в різноманітних галузях народного господарства, про що свідчить значна кількість документів по впровадженню результатів роботи. Розроблена методика реалізована у вигляді програмного забезпечення, яке може застосовуватись в наукових і проектно-конструкторських установах для дослідження процесів динамічного деформування та руйнування просторових тіл і, як слідство, прогнозування ресурсу їх роботи.

Основні наукові результати достатньо повно викладено в наукових публікаціях автора. Результати дисертації доповідались і обговорювались на багатьох наукових вітчизняних і міжнародних конференціях, надруковані у фахових виданнях України та виданнях, що входять до нуклометричних баз. Значна кількість матеріалу увійшла до тексту двох монографій, що побачили світ за участю здобувача.

Викладення змісту роботи є послідовним і дозволяє скласти повне уявлення про процес і результати дослідження. Робота акуратно оформлена і добре проілюстрована численними рисунками.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

Дисертація Вабіщевича М.О. виконана на високому науковому рівні, вона є **завершеною науково-дослідною роботою**, присвяченою вирішенню

актуальних питань механіки нелінійного деформування і руйнування просторових тіл, що знаходяться під дією динамічних навантажень.

В цілому, сукупність отриманих результатів являє собою **вирішення важливої науково-технічної проблеми**, яка полягає в розробці на основі нових розв'язувальних співвідношень чисельного підходу дослідження пружнопластичного напружено-деформованого стану тіл із тріщинами при динамічних навантаженнях та побудові ефективних алгоритмів їх динамічного розвитку.

Дисертаційна робота “Чисельне моделювання процесів нелінійного деформування неоднорідних просторових тіл з урахуванням появи та розповсюдження тріщини в умовах динамічного навантаження” відповідає вимогам встановленим МОН України для докторських дисертацій, а її автор Вабіщевич Максим Олегович **заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук** за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

завідувач кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування
Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
доктор технічних наук, професор



О.В. Гондлях

«Підпис доктора технічних наук, професора О.В. Гондляха **засвідчую**»

