

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Шкриля Олексія Олександровича “Чисельний аналіз тріщиностійкості просторових призматичних і кругових тіл складної форми при дії поверхневих та об’ємних сил різної природи”, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

Зважаючи на складний характер напружено - деформованого стану несучих конструкцій обумовлений геометричними параметрами об’єкта, фізичними властивостями, статичними та кінематичними впливами дослідження тріщиностійкості просторових розрахункових моделей в наш час є важливою науковою проблемою, розв’язання якої можливе лише за допомогою чисельних методів. Найбільшого поширення при розв’язанні подібних складних проблем набув метод скінчених елементів (МСЕ). Але попри універсальність МСЕ, можливість застосування до об’єктів складної геометричної форми головним недоліком МСЕ є громіздкість, яка призводить до занадто великих витрат комп’ютерних ресурсів та часу на створення розрахункових методик.

В той же час в будівельній механіці традиційно застосовувались комбіновані чисельно - аналітичні методи розрахунку складних об’єктів, в яких за рахунок особливостей геометрії області, в якій визначено математичну модель об’єкта, що розглядається, використовуються аналітичні методи по частині координат та чисельні по іншим.

Такий ефективний чисельно - аналітичний метод, названий напіваналітичним методом скінчених елементів (НМСЕ), побудовано в КНУБА в роботах Баженова В.А., Сахарова О.С., Гуляра О.І., Пискунова С.О., та ін. присвячених побудові методик розв’язування різних складних задач будівельної механіки.

Подана до захисту дисертаційна робота Шкриля О.О. присвячена узагальненню НМСЕ на вирішення цроблем, що не розглядалися - дослідження тріщиностійкості призматичних та кругових тіл з довільними граничними умовами в неоднорідному температурному полі. Вирішення цих проблем передбачає побудову алгоритмів розв'язання задач нестационарної теплопровідності та методик визначення параметрів механіки руйнування при дії об'ємних впливів.

Зважаючи на викладене, **тема дисертаційної роботи Шкриля О.О. є актуальною.** Це підтверджується також і узгодженням теми дисертації із низкою держбюджетних науково-дослідних робіт, виконання яких здійснювалось за активною участю Шкриля О.О. Результати виконання цих робіт склали основну частину розглядуваної дисертаційної роботи.

**Дисертація складається** зі вступу, дев'яти розділів, списку посилань, висновків і додатку, в якому містяться дані про впровадження результатів роботи.

**У першому розділі** наведено огляд підходів до опису процесів теплопровідності, деформування і дискретного руйнування просторових тіл, що дозволило окреслити коло невирішених проблем і обґрунтувати задачі дослідження.

**У другому розділі** наводяться вихідні співвідношення механіки руйнування та термопружного деформування просторових тіл. В залежності від типу деформування та характеру діючого навантаження в роботі використовуються параметр Гріффітса  $G$ , коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) та  $J$ -інтеграл Черепанова-Райса. Співвідношення термопружності представлені в криволінійній системі координат.

**В третьому та четвертому розділах** отримано розв'язувальні співвідношення для кругового незамкненого та призматичного скінченних елементів (СЕ) із чисельним інтегруванням в поперечному перерізі. Розроблено спеціальний скінченний елемент, що дозволяє моделювати тріщину в просторових тілах. Із застосуванням розроблених СЕ проведено

розв'язання низки тестових задач. Наведені результати добре узгоджуються із даними наведеними в публікаціях інших авторів.

**У п'ятому розділі** описана методика розв'язання просторової задачі нестационарної теплопровідності та термопружного деформування на основі НМСЕ. Визначення температурних деформацій та напружень виконується у відповідності з моментною схемою скінченних елементів в термінах фізичних величин. Розв'язання систем лінійних рівнянь НМСЕ здійснюється за алгоритмом блочних ітерацій з верхньою релаксацією. Проведено розв'язання тестових задач. Отримані результати, що порівнюються як з деякими аналітичними розв'язками, так і з результатами МСЕ показують ефективність розроблених методик.

**У шостому розділі** описано нові методики визначення параметрів механіки руйнування в дискретних моделях НМСЕ. Для визначення параметра Гріффітса  $G$ , на основі узагальненого методу реакцій вперше розроблено нову методику його обчислення за інваріантними об'ємними інтегралами. Обчислення параметра  $J^*$ , який використовується при температурному навантаженні, також виконується на основі методу реакцій шляхом зміщення підобластей. Визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень виконується прямим методом по привершинній зоні навколо вершини тріщини. Результати розв'язання тестових задач показали ефективність розроблених методик при дії як поверхневих так і об'ємних сил.

**У сьомому розділі** наведені результати визначення параметрів механіки руйнування в тестових задачах. Були розглянуті як двовимірні, так і просторові задачі механіки руйнування з тріщинами нормального відриву. Крім того окремо розглянуті задачі змішаного руйнування та при дії температурного навантаження. Отримані результати демонструють ефективність розроблених в дисертації методик визначення параметрів механіки руйнування.

**У восьмому розділі** розглянуто нелінійні задачі механіки руйнування. Моделювання нелінійності, що пов'язана із пружнопластичним

деформуванням виконується на основі крокових алгоритмів за параметром зовнішнього навантаження. Розв'язання систем нелінійних рівнянь НМСЕ на кожному кроці задачі виконується методом Ньютона-Канторовича. Оцінка тріщиностійкості в таких задачах виконується на основі величин  $J$ -інтеграла Черепанова-Райса. Проведено розв'язання двох тестових задач в двовимірній та просторовій постановках. Отримані результати показують необхідність розв'язання таких задач в тривимірній постановці.

У дев'ятому розділі наведено розв'язки практичних задач. Проведено визначення тріщиностійкості для захисної оболонки ядерного реактора, диска ротора парової турбіни, стінки вертикального резервуара та компактного зразка. Результати розрахунку кожного із зазначених об'єктів демонструють можливості та ефективність розроблених в роботі підходів.

**Достовірність** наукових результатів дисертаційної роботи підтверджується зіставленням отримуваних результатів із відомими з літератури розв'язками тестових задач, дослідженням збіжності отримуваних результатів шляхом згущення скінченно-елементної сітки по просторових координатах, а при покроковій апроксимації пружнопластичного деформування – за силовими параметрами навантажень.

**Наукова новизна роботи полягає в наступному:**

- отримані розв'язувальні співвідношення НМСЕ для просторової нестационарної задачі теплопровідності просторових тіл;
- побудовані вирази матриці жорсткості та вектора вузлових реакцій для призматичного та кругового незамкненого скінченних елементів із чисельним інтегруванням;
- на основі узагальненого методу реакцій розроблені методики визначення параметра Гріффітса та  $J^*$  шляхом обчислення об'ємних інваріантних інтегралів;
- отримано нові розв'язки прикладних задач, які є актуальними при визначенні тріщиностійкості відповідальних елементів конструкцій сучасної техніки.

- отримано нові розв'язки прикладних задач, які є актуальними при визначенні тріщиностійкості відповідальних елементів конструкцій сучасної техніки.

**Практичне значення результатів роботи і використання результатів досліджень.** Робота містить в собі чисельний підхід до визначення на основі НМСЕ тріщиностійкості кругових та призматичних тіл з тріщинами. Результати виконання роботи активно використані в науково-дослідних роботах і в навчальному процесі на кафедрі будівельної механіки КНУБА. Розроблена методика реалізована у вигляді програмного забезпечення, яке може застосовуватись в наукових та проектно-конструкторських установах для дослідження процесів дискретного руйнування просторових тіл.

**Оцінка змісту роботи, публікацій і автореферату.** Дисертація Шкриля О.О. являє собою завершене наукове дослідження, виконане на високому рівні. Викладення змісту роботи є послідовним і дозволяє скласти повне уявлення про процес і результати дослідження. Робота акуратно оформлена та добре проілюстрована численними рисунками. Основні наукові результати достатньо повно викладено в наукових публікаціях автора. За результатами дисертації опублікована монографія, результати доповідались на наукових конференціях.

Текст автореферату відповідає змісту дисертації і повно його відображає.

Результати наукових досліджень, за якими автор захистив кандидатську дисертацію, не виносяться на захист докторської дисертації.

**По дисертаційній роботі є наступні зауваження:**

1. В роботі занадто скупо описана методика визначення температурного поля, на відміну від опису інших побудованих розрахункових методик.

2. В дисертації достатньо повно розкрито питання достовірності моделювання НДС в просторових тілах при застосуванні розробленого типу скінченних елементів. Проте не зазначено в чому полягає ефективність

застосування нових СЕ порівняно із тими, що були створені раніше в межах НМСЕ.

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

Дисертація Шкриля О.О. виконана на високому науковому рівні; вона є **завершеною науково-дослідною роботою**, присвяченою вирішенню актуальних питань механіки руйнування просторових тіл.

Отже представлена дисертаційна робота "Чисельний аналіз тріщиностійкості просторових призматичних і кругових тіл складної форми при дії поверхневих та об'ємних сил різної природи" відповідає вимогам МОН України щодо порядку присудження наукових ступенів, а її автор Шкриль Олексій Олександрович **заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук** за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор  
завідувач кафедри вищої  
математики КНУБА

В.К. Чибіряков

Підпис В.К. Чибірякова засвідчую

Вчений секретар Київського  
національного університету  
будівництва і архітектури



О.С. Петренко

17.05.18