

Відгук офіційного опонента  
на дисертаційну роботу Селіванова Михайла Федоровича  
«Квазістатичні задачі механіки руйнування пружних та в'язкопружних тіл для моделей тріщин з зонами зчеплення», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

**Актуальність теми дисертації** обумовлена широким використанням у промисловості полімерних матеріалів та композитів на їх основі. Руйнування цих матеріалів внаслідок поширення тріщин має суттєву відмінність від руйнування крихких та квазікрихких матеріалів. Біля вершин тріщин у полімерних композитах утворюються зони послаблених зв'язків, які в літературі називають *failure zone*, *craze zone* або зонами передруйнування. В рецензованій роботі для однорідного матеріалу наявність цих зони враховується за допомогою моделі зони зчеплення (англ. *Cohesive Zone Model*), в рамках якої можна описати нелінійні ефекти деформування біля вершин тріщини. Вказана модель інтенсивно використовується у дослідженнях відшарування, поширення тріщин вздовж межі розділу середовищ, тріщиноутворення та багатьох інших.

Свідченням актуальності роботи є також те, що вона виконувалась у відповідності з важливими для галузі науковими програмами, планами, темами. За участі автора дисертації виконувались наступні науково-дослідні теми Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України: НДР 1.3.1.445п «Дослідження довготривалого деформування та руйнування анізотропних в'язкопружних тіл» номер державної реєстрації 0103U008055, 2003–2004 рр.; НДР № 1.3.1.345 «Дослідження квазістатичних процесів розвитку тріщин у композитах на основі моделей нелінійної механіки руйнування», номер державної реєстрації 0104U000300, 2004–2007 рр.; НДР № 1.3.1.358 «Розробка нових нетрадиційних підходів на основі дискретно-континуальних методів і комбінованих моделей деформування і руйнування композитних матеріалів для розв'язання проблем міцності і довговічності сучасних конструкцій», номер державної реєстрації 0107U000163, 2007–2011 рр.; НДР № 1.3.1.487п «Дослідження впливу в'язкопружних властивостей композитів на концентрацію напружень поблизу отворів при статичному навантаженні», номер державної реєстрації 0109U000252, 2009–2010 рр.; НДР № 1.3.1.366 «Дослідження механізмів квазістатичного розвитку тріщин в анізотропних і кусково-однорідних тілах при розтязі і зсуві з застосуванням підходів мезомеханіки руйнування», номер державної реєстрації 0107U008617, 2008–2012 рр.; НДР № 1.3.1.503п «Дослідження квазістатичних процесів деформування і початкового руйнування пружних і в'язкопружних ортотропних пластин з колінеарними тріщинами при розтязі», номер державної реєстрації 0115U002393, 2011 р.; НДР № 1.3.1.385 «Розробка моделей нелінійного деформування та руйнування конструктивних матеріалів з урахуванням їх дефектності, анізотропії, в'язкопружних та пластичних властивостей», номер державної реєстрації 0112U000252, 2012–2016 рр.; НДР № 1.3.1.386 «Дослідження квазістатичних процесів розвитку тріщин у в'язкопружних і нелінійно пружних тілах на основі моделей нелінійної механіки руйнування», номер державної реєстрації 0113U002153, 2013–2015 рр.; НДР № 1.3.1.408 «Визначення тріщиностійкості і довговічності композитних матеріалів на основі методів нелінійної механіки руйнування», номер державної реєстрації 0115U005710, 2016–2017 рр.

**Новизна отриманих наукових результатів** полягає в тому, що:

- Вперше отримано аналітичні розв'язки для переміщень берегів прямолінійної тріщини з зонами передруйнування для змішаного режиму руйнування коли окрім навантаження на значному віддалені від тріщини задано зосереджені сили в її околі. Використання зосереджених сил допомогло утворити неоднорідність поля напружень в околі тріщини та апробувати запропоновані в роботі квазіаналітичні методики визначення параметрів граничної рівноваги тіла з тріщиною. Окрім випадку ізотропії розглянуто ортотропію властивостей матеріалів. Враховано можливий контакт (в тому числі і частковий) берегів тріщини.
- Запропонована методика визначення переміщень берегів тріщини та систем тріщин з зонами передруйнування (розглянуто паралельні та колінеарні тріщини). Перевагою запропонованої методики є врахування умови скінченності напружень в тілі та логарифмічної особливості функції густини розкриття в точках, що відповідає вершині тріщини. Використання вимоги скінченності напружень дозволило вважати довжину зони зчеплення до внутрішніх параметрів задачі, тобто не відносити її до параметрів тріщиностійкості.
- Розвинуто методи розв'язання інтегральних рівнянь, що описують квазістатичне поширення тріщини у лінійно в'язкопружному ортотропному середовищі. Визначальне рівняння зростання тріщини узагальнено для випадку системи колінеарних тріщин. У цьому разі об'єктом дослідження є система інтегральних рівнянь та нерівностей, ядра яких знаходяться за допомоги запропонованих в роботі методик, що використовують в якості вихідних параметрів властивості матеріалів композита, його структуру та об'ємну концентрацію фаз.

**Практичне значення результатів дослідження** полягає у можливості використання отриманих методик та алгоритмів для визначення параметрів граничної рівноваги пружних ортотропних тіл складної геометрії за допомогою сіткових методів. Використання точних аналітичних методів дозволило виявити механічні закономірності, обумовлені використанням доволі складної моделі механіки руйнування. Методи дослідження квазістатичного зростання тріщин дають змогу визначати довговічність елементів конструкції з наявною тріщиною та системою колінеарних тріщин.

Теоретичне значення отриманих у роботі результатів полягає в розробці методології досліджень та побудові коректних з механічної та математичної точок зору моделей, а також в результатах розв'язання задач механіки тріщин з урахуванням наявності зон передруйнування. Запропоновані методики можуть застосовуватись у подальшому для розв'язання широкого кола інших задач, що виникають при проектуванні реальних конструкцій.

**Структура дисертації, публікації за темою дисертації, оцінка змісту та завершеності та висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам МОН України.** Робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та одного додатку. Загальний обсяг роботи становить 322 сторінок тексту. Результати дисертаційної роботи з достатньою повнотою відображено у 52 наукових працях, серед яких 43 статті опубліковано у фахових наукометричних виданнях. Результати дисертації достатньо повно пройшли апробацію на конференціях і

семінарах. Оформлення, структура і обсяг роботи відповідають вимогам МОН України до докторських дисертацій.

В цілому дисертаційна робота Селіванова М.Ф. виконана на досить високому науковому рівні і є цілісним завершеним науковим дослідженням, в якому одержані нові наукові результати, що в сукупності є вагомим внеском у вирішення актуальної наукової проблеми розв'язання задач механіки тріщин з урахуванням зон передруйнування. Результати та висновки роботи повністю відповідають сформульованій меті та завданням, а автореферат є ідентичним основним положенням дисертації і у повній мірі відображає основний зміст. Тема, зміст та результати дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

#### **Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків, їх достовірність:**

- наукові задачі досліджень в дисертації поставлені коректно;
- при розробці моделей розрахунку використовувалися відомі фізичні закони, а також загально визнані та адекватні гіпотези й припущення механіки руйнування;
- методи та алгоритми розв'язання задач розроблені із залученням коректного математичного апарату й стандартних числових методів;
- наведено аналіз числової збіжності запропонованих методик розв'язання;
- одержані результати апробовано на еталонних задачах даного класу (рівномірний закон зчеплення-відриву).

#### **Зауваження:**

1. При наближеному розв'язанні сингулярних інтегральних рівнянь відносно похідної стрибка нормальних переміщень на розрізі використано кусково-лінійну апроксимацію шуканої функції. Але така апроксимація суперечить поведінці цієї функції в околах вершин розрізу, яка є кореневою. Те саме стосується апроксимації функції контактних напружень у випадку контакту берегів тріщини.
2. При розгляді симетричної задачі для тріщини Гріффітса з ділянкою контакту між берегами за дії розтягувального навантаження на нескінченності та двох стискальних зосереджених сил в околі тріщини (підрозділ 3.1, рис. 3.16 дисертації) немає потреби застосовувати запропоновану в роботі ітераційну схему для визначення ділянки контакту та контактних напружень. Оскільки в області контакту стрибки переміщень та напружень відсутні, задача стає еквівалентною задачі для двох колінеарних тріщин. Остання ж має точний розв'язок.
3. Відсутні пояснення того, на якій підставі вибирається той чи інший закон зони зчеплення – відриву (розділ 5).
4. У роботі не йде мови про пластичні матеріали, хоча використану модель можна успішно застосувати для описання зон пластичності, що виникають в околі вершини тріщини.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і не зменшують ступеня обґрунтованості та вірогідності основних результатів та висновків.

**Висновок.** За актуальністю теми, новизною, обсягом виконаних досліджень, практичною та теоретичною цінністю результатів дисертаційна робота «Квазістатичні

задачі механіки руйнування пружних та в'язкопружних тіл для моделей тріщин з зонами зчеплення» відповідає вимогам п.п. 9,10,12,13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., № 1159 від 30 грудня 2015 р та № 567 від 27 липня 2016 р.), а її автор, Селіванов Михайло Федорович за вирішення актуальної проблеми механіки тріщин із зонами передруйнування заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Завідувач науково-дослідного сектора  
механіки спряжених хвильових полів  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка,  
доктор фізико-математичних наук, професор

*Острик*

В.І. Острик

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР НАЧ  
КАРАУЛЬНА Н.В.  
14.09.2017р.

