

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Щербія Андрія Богдановича** “Гранична рівновага пологих оболонок з тріщинами за наявності гнучкого покриття”, подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

### **Актуальність теми дисертації**

Парк металоконструкцій в Україні на сьогодні уже практично вичерпав свій плановий ресурс експлуатації. Тому дослідження, спрямовані на оцінку ризиків, пов'язаних з можливими аваріями на відповідальних об'єктах, завжди залишаються актуальними в теперішніх умовах. Ще більш затребуваною є відповідь на конкретне практичне запитання, а що робити з пошкодженою конструкцією – ремонтувати чи замінити повністю? Щоби дати рекомендації з цього приводу, інженер повинен мати арсенал засобів для ремонту та обґрунтовану методику прогнозування залишкового ресурсу підкріплених конструкцій з дефектами.

Самі по собі задачі механіки руйнування для підкріплених тіл з дефектами є доволі складними через істотну неоднорідність об'єкта, через наявність міжфазних поверхонь чи клейових прошарків, через фізичну нелінійність матеріалів. Їх реалізація у тривимірній постановці з урахуванням усіх подробиць потребує не тільки значних обчислювальних затрат, але і багатофакторного експерименту з ідентифікації великої кількості фізичних констант. Тому цікавими є моделі, які оперують з невеликим числом вхідних параметрів, але спрямовані на вивчення головних ефектів підкріплення.

Саме у цьому аспекті актуальною є дисертаційна робота А. Б. Щербія, націлена на математичне моделювання напружено-деформованого стану та граничної рівноваги пологих оболонок з тріщинами за наявності одностороннього гнучкого покриття. Ключовими ознаками прийнятого в роботі підходу є двовимірна теорія оболонок та модель шарнірного з'єднання берегів тріщини.

Робота виконана в рамках науково-дослідних тематик Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу МОН України та Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України.

### **Наукова новизна**

Наукова новизна дисертаційної роботи А. Б. Щербія визначається такими положеннями:

- 1) розвинуто методику асимптотичного аналізу граничної рівноваги пологої оболонки з тріщиною вздовж лінії кривини з урахуванням обмеженої міцності покриття;
- 2) вперше методом механічних квадратур побудовано числові розв'язки

задач статички підсилених гнучким покриттям циліндричної та сферичної оболонки з тріщинами для довільних значень параметра кривини; встановлено діапазон застосовності асимптотичних результатів, отриманих методом малого параметра;

3) вперше сформульовано та розв'язано задачі про взаємний вплив колінеарних тріщин в оболонках з гнучким покриттям, а також досліджено вплив взаємного розташування дефектів на граничну рівновагу підкріплених оболонок.

Слід також відзначити побудову регулярного інтегрального виразу для шарнірної реакції, який дозволяє не втрачати точність при обчисленні інтеграла в довільній точці розрізу.

Зазначені результати дали змогу авторові істотно розширити діапазон геометричних та механічних параметрів задачі, для яких визначаються граничні навантаження. Зокрема, відомі результати, отримані раніше для нескінченно міцного покриття, слугують верхньою оцінкою для руйнівних навантажень, знайдених дисертації.

### **Достовірність та обґрунтованість результатів**

Достовірність та обґрунтованість отриманих у дисертації результатів забезпечується успішною апробацією моделі шарнірного з'єднання берегів тріщини на задачах для пластин, узгодженням асимптотичного та числового розв'язків у разі малого параметра кривини. Додатковим аргументом на користь вірогідності слугує контроль збіжності методу механічних квадратур подвоєнням числа вузлів та порівняння результатів у часткових випадках з уже відомими даними інших авторів.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Запропонований підхід дослідження напружено-деформованого стану оболонок з тріщинами на підставі моделі розрізу з шарнірно з'єднаними берегами та двох критеріїв граничної рівноваги дав змогу точніше оцінити ефекти підкріплення оболонок залежно від співвідношення між параметрами тріщиностійкості оболонки та міцності покриття. Отримані в роботі результати можна використати для інженерного розрахунку тонкостінних конструкцій з тріщинами в судно-, авіа- і машинобудуванні, в будівельній індустрії та нафтогазовій промисловості. Конкретним варіантом застосування може бути аналіз ефективності бандажування нафто- чи газопроводів та внутрішньої герметизації обсадних труб.

### **Повнота викладу наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації в опублікованих працях**

Усі основні положення, висновки та результати досліджень, сформульовані у тексті дисертаційної роботи, достатньо повно відображені у публікаціях автора, апробовані на міжнародних конференціях та наукових семінарах з механіки деформівного твердого тіла. За результатами дисертації

опубліковано 15 наукових праць, серед них 6 статей надруковано у фахових виданнях у галузі фізико-математичних наук, 3 статті у матеріалах міжнародних конференцій, 6 тез. У наукометричній базі Scopus проіндексовано 3 публікації.

### **Мова та стиль викладу дисертації, її відповідність паспорту спеціальності**

Дисертація написана літературною українською мовою, її текст лаконічний та логічно структурований. Тема та зміст дисертації відповідають вимогам паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла. Текст дисертації та автореферату оформлено відповідно до чинних вимог МОН України. Зміст автореферату повністю відповідає змісту та основним положенням роботи і відображає стан проблеми, прийняту математичну модель, методологію та результати проведених досліджень.

### **Оцінка основного змісту роботи**

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, викладено мету і задачі дослідження, основні положення новизни та інші відомості, передбачені вимогами до дисертації.

У першому розділі описано стан проблеми досліджень з механіки оболонок з тріщинами та пошкоджених пластин з підкріпленнями. Показано місце моделі шарнірного з'єднання берегів тріщини серед інших підходів.

У другому розділі наведено основні співвідношення теорії пологих оболонок, сформульовано задачу статички для вкритої покриттям пологої оболонки із взаємопов'язаними крайовими умовами на розрізі. Описано загальну методологію дослідження та відомі методи розв'язування сингулярних інтегральних рівнянь. Важливим моментом є формулювання двох критеріїв граничної рівноваги дефектної оболонки з покриттям: крихке руйнування оболонки за семою розповсюдження тріщини та втрата цілісності покриття шляхом розриву.

Третій розділ роботи висвітлює результати аналітико-числового дослідження коефіцієнтів інтенсивності зусиль та моментів і розподілу зусиль у покритті на лінії розташування тріщини. Обчислено граничні навантаження, які ілюструють можливості руйнування композицій за різними механізмами. На основі порівняння асимптотичних та числових результатів встановлено межі застосовності отриманих асимптотичних залежностей для вкритих циліндричної та сферичної оболонок з тріщинами.

У четвертому розділі подано результати дослідження взаємного впливу колінеарно розташованих тріщин за розтягу оболонок з гнучким покриттям. Сформульовано задачу теорії пологих оболонок із взаємопов'язаними крайовими умовами на співвісних розрізах, отримано систему сингулярних інтегральних рівнянь відносно невідомих розривів переміщень у базовій

поверхні оболонки. Детально розглянуто оболонки з двома однаковими прямолінійними розрізами під сталим навантаженням.

У висновках наведено підсумки досліджень, перелічено основні результати, отримані у дисертації, та встановлені закономірності щодо впливу односторонніх гнучких покриттів на міцність пологих оболонок з наскрізними тріщинами.

### Зауваження

1. Враховуючи те, що напружений стан поблизу тріщини є високоградієнтним, доцільно було би вийти за рамки гіпотез Кірхгофа і спробувати дослідити ефект однобічного підкріплення на основі уточнених теорій оболонок.

2. У загальних висновках до дисертації подано надто грубі (чи сильні) нерівності для характеристики міцності покриття, а саме:  $N_* \gg p^0$  – високоміцне покриття,  $N_* \ll p^0$  – слабе покриття. У той же час у тексті дисертації (підрозділ 3.2) для конкретних форм оболонок наведено набагато точніші нерівності.

3. У тексті роботи паралельно вживаються терміни “граничне навантаження” та “руйнівне навантаження”. Різниця між ними чітко не окреслена.

4. Щодо оформлення рукопису та автореферату.

Відомі формули асимптотики напружено-деформованого стану біля вершини тріщини (пункт 2.2.3) та громіздкі вирази ядер через циліндричні функції (підрозділ 3.2) краще було перенести у додатки.

У тексті автореферату зустрічаються окремі огріхи: наприклад, у третьому пункті новизни на с. 2 пропущено прийменник “в”, у виразі для коефіцієнта інтенсивності зусиль на с. 7. є описка.

### Висновок


Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

Подана до захисту кандидатська дисертація А. Б. Щербія є завершеною науковою працею, зміст автореферату повністю відповідає змісту та основним положенням роботи, висновки відображають виконання усіх завдань дослідження та досягнення його мети.

Отримані автором нові науково обґрунтовані результати в сукупності вирішують наукове завдання, яке полягає у розвитку методів дослідження пружної та граничної рівноваги пологих оболонок з тріщинами задля оцінки впливу гнучкого покриття на міцність пошкоджених тонкостінних конструкцій. Розв’язання цього завдання дало змогу заповнити прогалини в попередніх дослідженнях, зокрема, за рахунок урахуванням обмеженої міцності покриття, та виявити нові закономірності щодо впливу геометричних та механічних параметрів на величину руйнівних навантажень.

За актуальністю обраної теми, обсягом та новизною виконаних досліджень, повнотою опублікування та апробації результатів дисертаційна робота “Гранична рівновага пологих оболонок з тріщинами за наявності гнучкого покриття” повністю відповідає чинним вимогам МОН України, які ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор, Щербій Андрій Богданович, за розвиток методів дослідження напружено-деформованого стану та граничної рівноваги пошкоджених тріщинами оболонок з гнучким покриттям заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент –  
професор кафедри вищої математики  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка,  
доктор фізико-математичних наук, професор

 О. В. Максимук

Підпис проф. Максимука О. В. засвідчую

Вчений секретар ЛНУ ім. Івана Франка



доц. С. С. Грабовецька

*Надійшов у секретарю 4.05.2021*

*Вг. секретар  
секретарю*

*[Handwritten signature]*

*Ясінькевич А.В.*