

## ВІДГУК

*офіційного опонента на дисертаційну роботу*

*Ревенка Віктора Петровича*

**«Напружено-деформований стан локально навантажених пружних тіл з  
циліндричними та плоско-паралельними межами»,**

*подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.*

**Актуальність теми.** Пружні елементи з циліндричними та плоско-паралельними межами, які можуть бути змодельовані однорідними або багат шаровими циліндричними тілами, прямокутними пластинами і призмами широко використовуються у машинобудуванні, будівництві та інших інженерно-технічних й енергетичних галузях як несучі, або технологічні елементи конструкцій, що знаходяться під дією різноманітних локальних навантажень. Щоб спрогнозувати їх механічну поведінку, оцінити міцність і надійність, потрібно опиратися на результати всесторонніх теоретичних і числових досліджень напружено-деформованого стану, що призводить до необхідності розв'язування відповідних крайових задач механіки деформівного твердого тіла. Необхідність максимального використання ресурсів міцності та економія матеріалів зумовлює підвищені вимоги до точності розрахунків несучої здатності цих конструктивних елементів. Зауважимо, що крайові задачі теорії пружності для тіл з межовими поверхнями і кутовими лініями є одними із найбільш складних у математичному відношенні граничних задач математичної фізики. Це пов'язано як із складністю явної побудови вектора переміщень і тензора напружень, які би гарантували повноту і лінійну незалежність знайденого розв'язку, так із необхідністю одночасного задоволення всіх крайових умов та умов контакту прилеглих шарів, які задані на різних поверхнях тіла, і тільки після задоволення яких визначаються диференціально пов'язані між собою невідомі функції. Врахування цих факторів ускладнює використання відомих аналітично-числових або числових методів.

Наслідком цього є потреба в удосконаленні відомих і розробці нових методів розрахунку механічної поведінки пружних тіл з циліндричними та плоско-паралельними межами, які можуть з контрольованою точністю задовольнити всі крайові умови та умови контакту шарів і визначити їх напружено-деформований стан.

З огляду на сказане, дисертаційна робота Ревенка В.П., яка стосується як побудови фізично обґрунтованих подань лінійно незалежних тензорів напружень, так і розробки аналітично-числового методу розв'язування крайових задач і дослідження напружено-деформованого стану локально навантажених

циліндричних тіл, прямокутних пластин і призм, спрямована на розв'язання важливої та актуальної наукової і практичної проблеми. Дисертаційна робота виконувалася за держбюджетною і відомчою тематикою наукових досліджень Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України.

**Наукова новизна дисертаційної роботи.** У роботі зроблено вагомий внесок у розвиток методів дослідження дво- та тривимірних напружено-деформованих станів циліндричних тіл і прямокутних пластин за допомогою однорідних розв'язків і узагальнених квадратичних форм. Для побудови повного і лінійно незалежного розв'язку заданої крайової задачі напружений стан розділено на основний і самозрівноважений напружені стани, останній визначається після розв'язання відповідної спектральної задачі. Для аналізу впливу локально розподілених сил на напружений стан тіл з циліндричними та плоско-паралельними межами сформульовані, описані і використані у розрахункових алгоритмах нові класи локально-неперервних навантажень як з чітко вираженим максимумом, так і трапецевидною формою. Дисертантом розроблено новий ефективний метод задоволення, із контрольованою точністю, всіх крайових умов і умов контакту у циліндричних тілах і прямокутних пластинах. Відзначимо, що запропонований метод є універсальним і доволі просто враховує крайові умови як в напруженнях, так і в переміщеннях.

Найважливіші наукові результати є такими:

1. Доведено, що напружений стан ізотропного пружного тіла за умови виконання співвідношень лінійної теорії пружності описують три гармонічні функції, так що об'ємне розширення виражається через одну, а вектор елементарного повороту через дві незалежні гармонічні функції.

2. Наведено загальне подання розв'язку рівнянь теорії пружності в ортогональній криволінійній системі координат. Знайдено два загальних представлення тензора напружень у циліндричній системі координат, які явно містять у вигляді множника біля однієї функції або осьову, або радіальну змінну, що дало змогу побудувати для циліндричних тіл зліченні набори тривимірних однорідних розв'язків.

3. Запропоновано фізично обґрунтоване розділення напружено-деформованого стану однорідних і багатошарових циліндричних тіл, прямокутних пластин і призм на основні і зліченні набори однорідних розв'язків, побудованими в явному вигляді.

4. Встановлено числовий критерій, за виконання якого побудований наближений розв'язок буде збігатися з точним розв'язком; наведено оцінки похибок задоволення крайових умов, які визначаються одним числом – знайденим мінімумом відповідної узагальненої квадратичної форми.

5. Розроблені з використанням однорідних розв'язків та узагальнених квадратичних форм аналітично-числові методики розрахунку напружено-деформованого стану локально навантажених однорідних і багатошарових циліндрів та прямокутних пластин.

6. На цій основі знайдено якісні та кількісні закономірності розподілу компонент напруженого стану в циліндричних тілах, прямокутних пластинах і призмах в залежності від їх геометричних розмірів, характеристик локальних навантажень (безрозмірної ширини, міри відхилення від прямокутного розподілу, значень максимального навантаження) та пружних характеристик окремих шарів.

**Повнота викладу основних положень дисертації в публікаціях і авторефераті та їх апробація.** Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені в 44 наукових працях, з яких 39 статей у фахових журналах та збірниках з переліку ДАК МОН України, у тому числі 12 статей у виданнях, що реферуються міжнародною наукометричною базою Scopus. За матеріалами дисертаційної роботи зроблено низку доповідей на відомих вітчизняних і міжнародних наукових конференціях з механіки деформівного твердого тіла та семінарах провідних у цій галузі наукових установ. Матеріали дисертаційної роботи викладено логічно, розділи взаємопов'язані і повністю розкривають поставлену мету.

Автореферат оформлено згідно з вимогами ДАК МОН України. Він добре структурований та достатньо повно відображає зміст, основні положення та висновки дисертаційної роботи.

**Достовірність наукових положень та отриманих в роботі результатів** забезпечується використанням класичних положень лінійної теорії пружності ізотропних тіл, коректністю та строгістю математичних постановок розглянутих задач; точному задоволенні всіх співвідношень механіки деформівного твердого тіла; поданням розв'язків конкретних задач у вигляді рядів за повними системами функцій, які є точними розв'язками рівнянь Ляме; задоволенням усіх крайових умов і умов контакту із контрольованою точністю; відповідністю висновків фізичній суті досліджуваних явищ; узгодженістю результатів для часткових випадків із відомими результатами, які було отримано з використанням інших підходів.

**Важливість отриманих результатів для науки та практики.** У науковому плані в дисертації Ревенка В.П. можна виділити декілька аспектів. Теоретичну цінність роботи складає строге математичне доведення, що компоненти напруженого стану пружного ізотропного тіла в лінійній теорії пружності можна виразити через три незалежні гармонічні функції із записом об'ємного розширення через одну, а вектора елементарного повороту через дві функції. Слід відзначити, що наведені формули дають можливість уніфікувати запис переміщень і напружень у пружному тілі в ортогональній криволінійній системі координат. Суттєвим для практики є фізично і математично обґрунтоване розбиття напруженого стану на

основний і зліченні набори самозрівноважених напружених станів, які експоненційно спадають при віддаленні від виділених поверхонь тіла, що відповідає принципу Сен-Венана. Запропонований підхід дає можливість контролювати процес побудови повного і лінійно незалежного розв'язку із окремих часткових розв'язків, а також гарантує відповідність одержаних результатів механічній дії прикладених навантажень. Важливими є теорема, яка встановлює критерій збіжності методу і дає оцінки точності задоволення як крайових умов, так і умов контакту, а також розроблена аналітично-числова методика зведення задоволення всіх крайових умов і умов контакту прилеглих шарів до варіаційної задачі, розв'язок якої замінено знаходженням мінімуму відповідної узагальненої квадратичної форми. Заслугує на увагу і запропонований алгоритм аналітичного визначення і комп'ютерного обчислення коефіцієнтів цих форм. Розроблений підхід дає змогу розв'язувати значну кількість задач механіки деформівного твердого тіла, які можна звести до подібних систем рівнянь.

Практичну цінність складає розроблений в дисертації ефективний аналітично-числовий метод розв'язання крайових задач теорії пружності для циліндричних тіл, прямокутних пластин і призм, локально навантажених на всіх поверхнях, який дозволяє визначити їх напружено-деформовані стани.

Результати дисертації використано в Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України під час виконання науково-дослідних тем за відомчим замовленням НАН України для розв'язання крайових задач і дослідження напружено-деформованого стану структурно-неоднорідних тіл.

Розвинутий підхід може бути використаний для розв'язання двовимірних і тривимірних крайових задач теорії пружності, термопружності та електропружності пружних тіл з циліндричними та плоско-паралельними межами в Інституті механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України, Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України, Київському національному університеті ім. Тараса Шевченка та інших.

Разом із висвітленням досягнень, до роботи можна зробити такі зауваження:

1. Варто було б обмежити коло розглянутих у роботі питань і зосередити увагу на більш глибокому дослідженні багат шарових циліндричних тіл.

2. Огляд літературних джерел перевантажений літературними джерелами з минулого століття, є ряд описок та неточностей, зокрема в посиланні (Boussinesq, J. *Applications des potentiels* / J. Boussinesq. – Paris: BiblioLife, 2010. – 730 p.) не міститься розв'язку рівнянь Ляме, такого що бігармонічний вектор задається лише однією компонентою, спрямованої по осі симетрії.

3. Автором не було проведено порівняння одержаного розв'язку для двошарового циліндра з відомими частковими розв'язками.

4. У роботі приймалося умови ідеального механічного контакту на межі розділу матеріалів шарів. На практиці можуть бути випадки, коли контакт матеріалів не є ідеальним. Слід було б розглянути такі варіанти.

Зроблені зауваження не впливають на високу оцінку дисертації як цілісної, завершеної наукової праці, в якій викладені нові результати та методи, що мають високу наукову і практичну цінність.

**Оцінка змісту дисертації.** Дисертаційна робота Ревенка В.П. є завершеним науковим дослідженням, чітко спланована, добре структурована, написана загалом грамотно. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла, затвердженого ДАК України.

**Висновок.** За актуальністю, обсягом проведених досліджень, новизною, науковою та практичною значимістю дисертація В. П. Ревенка “Напружено-деформований стан локально навантажених пружних тіл з циліндричними та плоско-паралельними межами” цілком відповідає вимогам п. 9 та 10 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника” (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року, № 567) щодо дисертацій, поданих на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук. У роботі отримано нові науково обґрунтовані результати щодо розроблення аналітично-числового методу розв’язання двовимірних і тривимірних крайових задач теорії пружності для однорідних і багатошарових ізотропних циліндричних тіл, прямокутних пластин і призм, які локально навантажені на всіх поверхнях, та дослідження на його основі напружено-деформованого стану таких тіл, за що її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

**Офіційний опонент:**

завідувач кафедри прикладної механіки

і комп’ютерних технологій, академік НАН України,

доктор фізико-математичних наук, професор

*В.П. Шевченко*  
В.П. Шевченко

Підпис В.П. Шевченка засвідчую

Вчений секретар Донецького

національного університету

імені Василя Стуса



*О.Г. Важеніна*  
О.Г. Важеніна