

## РЕЦЕНЗІЯ

кандидата фізико-математичних наук, провідного наукового співробітника Великоіваненко Олени Андріївни на дисертаційну роботу **Боровика Ярослава Володимировича** за темою: «Розробка і дослідження довгомірної зварної конструкції перетворюваного об'єму космічного апаратобудування», подану до захисту на здобуття ступеня **доктора філософії** в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство

### Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційну роботу присвячено розробці та виготовленню металевій конструкції перетворюваного об'єму космічного призначення з конічних секцій, механічні характеристики якої можливо прогнозувати на етапі її створення з урахуванням впливу факторів агресивного середовища в умовах експлуатації. На сьогоднішній день існує низка викликів у сфері розробки несучих розкривних конструкцій космічного призначення, які мають поєднувати компактність із тривалою стійкістю до агресивних умов зовнішнього середовища. Технології компактного формоперетворення просторових конструкцій знаходять широке застосування в космічній галузі, дозволяючи створювати гнучкі та адаптивні системи зі змінними формами та розмірами. Для успішного впровадження таких конструкцій необхідно вирішити низку завдань, зокрема розробку надійних механізмів управління розкриттям та застосування високоякісних матеріалів, що відповідають вимогам космічного середовища. Особливу актуальність ця проблема набула в останні десятиліття у зв'язку з розвитком програм освоєння Місяця та Марсу. Наприклад, створення бази на Місяці вимагає доставки значної кількості житлових і технологічних модулів на початкових етапах.

Розв'язання цієї проблеми має комплексний характер, оскільки включає використання конструктивно-технологічних рішень, спрямованих на створення довгомірних зварних конструкцій із змінним об'ємом. Вони

повинні забезпечувати задані геометричні параметри, вакуумну щільність після багаторазових деформаційних циклів і несучу здатність у складних умовах космічного простору.

Таким чином, обрана здобувачем тема дисертаційної роботи є актуальною, вона має суттєву значущість для вирішення важливої науково-технічної задачі у галузі матеріалознавства і повністю відповідає спеціальності 132 «Матеріалознавство».

### **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.**

Результати дисертації є достовірними та обґрунтованими, що підтверджується значним обсягом проведених досліджень. Наукові положення, висновки та рекомендації, представлені в роботі, відповідають встановленим вимогам Міністерства освіти і науки України щодо дисертаційних досліджень.

Автором чітко визначено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мету та поставлено конкретні завдання. У роботі проведено ґрунтовний огляд літератури, охоплено широкий спектр джерел. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та практичних рекомендацій є високим. Для досягнення поставлених цілей було застосовано сучасні методи, зокрема оптичну та електронну мікроскопію, комп'ютерне моделювання, а також статистичну обробку й аналіз експериментальних даних.

### **Достовірність та наукова новизна здобутих результатів.**

Достовірність наукових положень, висновків і результатів доведено збіжністю результатів аналітично-розрахункових та експериментальних досліджень, використанням в експериментальних дослідженнях сучасних

методів і методик, трактуванням одержаних результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням, а також досвідом їх практичного використання. Достовірність одержаних результатів підтверджується їх успішним застосуванням в ході дослідно-промислової перевірки.

До найвагоміших результатів дисертаційної роботи, які відповідають ознакам наукової новизни, можна віднести наступне:

1. Уперше створено метод прогнозування реакції критичних елементів розкривної оболонки на зовнішні та технологічні фактори, відтворення яких в експлуатаційних умовах значно ускладнено або неможливо. Найяскравішим прикладом є забезпечення необхідних властивостей нероз'ємних з'єднань, які піддаються екстремальним деформуванням у складі розкривної оболонки.

2. Уперше запропоновано та обґрунтовано використання комплексу конструктивно-технологічних рішень, спрямованих на створення довгомірної зварної конструкції перетворюваного об'єму космічного призначення. Це досягнуто через застосування технологій зварювання, формоутворення та експериментальної перевірки результатів математичного моделювання напружено-деформованих станів і частот власних коливань. Отримано необхідну несучу здатність, масово-габаритні параметри, високу міцність і вакуумну щільність зварних з'єднань.

3. Встановлено, що базова частота власних коливань конструкції перетворюваного об'єму змінюється в процесі її розкриття, поступово зростаючи зі збільшенням довжини конструкції. У фінальній стадії розкриття частота відповідає регламентованому значенню понад 2 Гц, що унеможливорює виникнення резонансних коливань в умовах експлуатації.

4. Вперше розроблено алгоритм відтворення та поєднання геометричних і механічних властивостей розкривної конструкції у робочому стані. Це дозволяє усунути невизначеність у співвідношенні



жорсткості оболонки та її точних геометричних параметрів, які є принципово важливими для космічного апаратобудування. Також спрогнозовано дефектоутворення у процесі зварювання екстремально деформованих з'єднань з фольгових металевих матеріалів, що забезпечує їхню вакуумну щільність після деформаційних циклів.

5. Отримано нові результати, що у сукупності вирішують актуальне науково-технічне завдання з розробки та виготовлення металевої конструкції перетворюваного об'єму космічного призначення, що складається з конічних секцій. Це також включає прогнозування реакції її критичних елементів на вплив зовнішніх і технологічних факторів.

### **Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання.**

Наукова та практична цінність результатів дисертаційного дослідження підтверджується тим, що розроблені методи й технології забезпечують можливість трансформації жорстких несучих оболонок конічної (багатоконусної) форми. Вони ефективно поєднують несучу здатність і демпфувальні характеристики конструкцій, що використовуючи реальні матеріали.

### **Повнота вкладу результатів дисертаційного дослідження та наукових положень в опублікованих працях.**

Основні наукові результати роботи в повному обсязі викладені у 5 публікаціях, з них 3 у виданнях, включених або реферованих в міжнародних наукометричних базах даних «Scopus». Особистий внесок здобувача у ці публікації є суттєвим, що відображено у дисертації.

Наукові результати, що отримані у дисертаційній роботі, були апробовані та отримали позитивну оцінку на двох міжнародних наукових конференціях.

### **Структура, оцінка мови, стилю та оформлення.**

Дисертація Я.В. Боровика складається із анотації двома мовами, вступу, 3 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 170 сторінок, 100 рисунки, 15 таблиць, список використаних джерел з 81 найменувань.

Дисертацію виконано на високому науково-технічному рівні, вона містить достатній обсяг виконаних досліджень та оформлена згідно з вимогами до змісту і об'єму дисертаційних робіт. Структура кваліфікаційної роботи погоджується з метою та завданнями дослідження.

Дисертаційна робота містить наукові положення, які раніше не були захищені, і нові науково-обґрунтовані результати досліджень та задовольняє паспорт спеціальності 132 «Матеріалознавство», галузь знань 13 «Механічна інженерія». Дисертацію оформлено у відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України (Наказ № 40 від 12.01.2017 із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019).

### **Академічна доброчесність**

Здобувач дотримується вимог академічної доброчесності, дисертація не містить елементів плагіату та запозичень, має посилання на відповідні джерела інформації у випадку використання ідей, результатів та текстів інших авторів. Автор дотримується норм законодавства про авторське право, надає повну та достовірну інформацію про результати наукової діяльності, а також використані методики досліджень.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. Опис методів виконаний ретельно, але для більшої структурованості рекомендується окремо виділити розділи, присвячені теоретичним розрахункам і експериментальним дослідженням. Це покращить сприйняття матеріалу.
2. В роботі описано властивості матеріалів, однак не повністю розкрито, як враховувалися впливи експлуатаційних умов, таких як температура, вакуум чи радіація.
3. У деяких ілюстраціях (наприклад, моделі конструкції) бракує детальних пояснень осей координат, одиниць вимірювання або ключових точок на графіках. Це ускладнює розуміння результатів.
4. Експерименти описані детально, але було б корисно додати структуровану таблицю, яка узагальнює мету, параметри та отримані результати для кожного експерименту. Це зробить матеріал більш зрозумілим.
5. В тексті трапляються місця з неконкретною термінологією (наприклад, "характерні зовнішні навантаження"). Рекомендується уточнити формулювання для підвищення ясності.
6. У частині про модальний аналіз не вказано, яка частота коливань є допустимою для експлуатаційних умов. Рекомендується додати порівняння з нормативними значеннями.
7. Аналіз отриманих результатів демонструє глибокий підхід. Проте добре було б додати окремий підрозділ, який би зіставляв результати моделювання з експериментальними даними, аби чіткіше показати рівень збіжності.

## ВИСНОВОК

Відмічені недоліки та зауваження, зроблені до окремих положень дисертації, не стосуються кваліфікаційних ознак роботи в цілому і не знажують її загального наукового рівня.

Вважаю, що дисертація на тему «Розробка і дослідження довгомірної зварної конструкції перетворюваного об'єму космічного апаратобудування» є завершеною самостійною науковою роботою, яка містить нові обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що мають істотне значення для галузі матеріалознавства і за актуальністю, змістом, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, достовірністю і значущістю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Боровик Ярослав Володимирович, за результатами публічного захисту наукових досліджень у формі дисертації, на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Рецензент:

провідний науковий співробітник відділу

№ 34 Математичні методи дослідження

фізико-хімічних процесів

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

кандидат фізико-математичних наук



Олена ВЕЛИКОІВАНЕНКО

Підпис Олени ВЕЛИКОІВАНЕНКО засвідчую,

Вчений секретар ІЕЗ ім. Є.О. Патона



Ілля КЛОЧКОВ