

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Кравчука Антона Романовича**

на тему «Багаторівнева система початкового проектування колаборативних  
роботизованих механоскладальних технологій»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань

13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ**

На сьогодні технічний розвиток промисловості базується на впровадженні новітніх технологій та інженерних рішень, забезпеченні високих показників продуктивності, енергоефективності, гнучкості, безпечності умов праці тощо. Вищевказане стало можливим завдяки автоматизації та роботизації технологічних процесів на виробництвах, сукупно із сучасним, функціональним та гнучким обладнанням, яке здатне адаптуватися до змінних вимог виробництва. Саме промислові роботи (ПР) беззаперечно зарекомендували себе як надійне, високопродуктивне та ефективне обладнання. Незважаючи на ряд переваг ПР, на сьогодні існують сфери виробництв, де застосування класичних типів ПР є неможливим або достатньо ризикованим. Тому, на тлі зростаючої кількості впроваджень ПР у промисловості широкого застосування набувають колаборативні промислові роботи (КПР), особливо в тих випадках, де невід'ємною складовою технологічного процесу є людина. Випуск КПР кожного року зростає значно більшими темпами, ніж типових ПР. Це підкреслює актуальність та перспективність наукових досліджень даного напрямку, а також важливість промислового впровадження та ефективного використання КПР. Зрозуміло, що застосування КПР в сучасному виробництві ставить ряд недосліджених проблемних питань, пов'язаних із технологічною підготовкою, забезпеченням і впровадженням виробництва.

Вищесказане підкреслює важливість та актуальність досліджень виконаних Кравчуком А.Р. наукових досліджень, пов'язаних з проектуванням колаборативних роботизованих механоскладальних технологій та їх впровадженням у різногалузеві виробництва.

### **ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ, ЇЇ ЗАВЕРШЕНІСТЬ ТА ДОТРИМАННЯ ПРИНЦИПІВ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ**

Зміст дисертаційної роботи здобувача Кравчука А.Р. повністю відповідає освітньо-науковій програмі «Прикладна механіка» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» та вказаним в ній напрямкам наукових досліджень.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Робота написана українською мовою та складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний об'єм дисертації складає 177 сторінок, з них 115 сторінки основного тексту, 3 таблиці, 68 рисунків, 72 інформаційних джерела та 4 додатки.

У **вступі** дисертації доведено актуальність теми дисертації, сформульована мета та завдання дослідження, виконано огляд достатньої кількості інформаційних джерел у галузі промислової робототехніки, вказано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

Змістом **першого** розділу є проведення аналізу доступних інформаційних джерел щодо сучасного стану «класичних» та колаборативних роботизованих технологій на різногалузевих виробництвах. Розглянуто особливості технологічної підготовки роботизованих колаборативних та «класичних» роботизованих виробництв. Висвітлено проблему недостатньо глибоких та всебічних досліджень при проектуванні та впровадженні колаборативних роботизованих технологій, а також методів та підходів щодо впровадження КПП у виробництво в цілому та при розподілі завдань між людиною та КПП.

У **другому** розділі представлено формалізований опис розробленого методичного забезпечення системи визначення рівня колаборації у технологічній роботизованій системі людина-робот. Висвітлено розроблений трирівневий підхід, який складається із стратегічного рівня L1, тактичного рівня L2 і виконавського рівня L3, що комплексно розглядає питання впровадження КПП та розподілу завдань між людиною та роботом. Розроблено та представлено методика атестації метрики як одну із можливих складових виконавського рівня L3. Представлено загальні схеми послідовності розв'язуваних завдань за допомогою SADT-діаграм. Представлена запропонована методика застосування експертного опитування на основі МАІ для пропонованого його (методу) використання в трирівневому підході, а та кож стисло представлена методика використання НБВА.

**Третій** розділ присвячено розробці інформаційного базису розв'язування задач в технологічній колаборативній системі людина-робот. Представлено основні складові інформаційного базису, а саме постійні та змінні дані в контексті розв'язування в даній роботі завдань. Також представлено інформаційне забезпечення для проведення атестації метрики маніпуляційних систем КПП/ПР, зміст якої зводиться до визначення інформації про положення ланок КПП/ПР із збереженням певної їх орієнтації та орієнтації у просторі затискного пристрою КПП/ПР з/без об'єкта маніпулювання в ньому. Представлено інформаційне забезпечення щодо рекомендаційної складової реалізації колаборативних роботизованих технологій.

В **четвертому** розділі представлено розроблене алгоритмічно-програмне забезпечення, що застосовується на початкових етапах проектування колаборативних роботизованих технологій. Представлено стислий алгоритм роботи методу прийняття технологічних рішень на основі МАІ для пропонованого трирівневого підходу, який дозволяє визначити можливість впровадження КПП у виробництво та при розподілі завдань між людиною та роботом. Представлено узагальнений алгоритм роботи НБВА, що підвищує рівень інформативності отриманих результатів експертного опитування. Висвітлено розширений алгоритм атестації метрики маніпуляційних систем ПР/КПП. Представлено програмну реалізацію МАІ, НБВА та атестації метрики ПР та КПП, а також висвітлено відповідні результати досліджень.

## **СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ ТА ДОСТОВІРНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Наукова новизна представленої роботи полягає у вперше запропонованому трирівневому підході реалізації початкових етапів проектування колаборативних роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування, який враховує основні технічні, технологічні та функціональні особливості колаборативних технологій, КПП та об'єктів виробництва.

Запропоновано використання методу аналізу ієрархій (МАІ) та нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив (НБВА), які дозволяють обґрунтовано приймати рішення щодо застосування КПП на виробництві в цілому, а також щодо розподілу завдань між людиною та роботом в процесі виробництва.

Представлено вперше новий підхід щодо дослідження технологічних можливостей ПР/КПП за рахунок розробки та проведення автоматизованої атестації метрики маніпуляційної системи ПР/КПП. Отримані з даного дослідження результати є невід'ємною складовою технологічної підготовки колаборативних механоскладальних виробництв.

Виконаний аналіз змісту та представлення опонованої дисертаційної роботи і наукових публікацій Кравчука А.Р. дає можливість стверджувати, що робота має достатній рівень обґрунтованості та достовірності отриманих в ній результатів. Достовірність та обґрунтованість представлених у роботі пропозицій та результатів досліджень ґрунтується на опрацюванні автором дисертації достатнього об'єму достовірних та загальнодоступних інформаційних джерел. Поставлені наукові завдання в дисертаційній роботі виконані повністю. Це є підтвердженням того, що здобувач оволодів методологією наукової діяльності і успішно її впровадив в даній дисертації. Підтвердженням цього є використання науково-обґрунтованих методів досліджень, зокрема положень системного аналізу, теорії оптимізації, множин і графів, а також сучасним комп'ютерним моделюванням.

Загалом одержані результати дослідження характеризуються науковою новизною, придатні для удосконалення існуючих і розроблення нових теоретико-методичних положень та прикладних аспектів багатьох питань колаборативної промислової робототехніки.

### **ОПРИЛЮДНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Здобувач Кравчук А.Р. за отриманими результатами проведених досліджень опублікував 13 наукових праць, із них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у міжнародних наукометричних базах WoS та Scopus, 8 тез доповідей у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій та отримано 2 документи інтелектуальної власності, а саме свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Апробація результати дисертаційного дослідження виконана на 8 наукових фахових конференціях. Наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

## **ДИСКУСІЙНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ЗАУВАЖЕННЯ ПО ДИСЕРТАЦІЇ**

Представлена дисертаційна робота все ж не вільна від зауважень та неточностей щодо результатів та їхнього представлення. До них відносять наступні положення.

1. Перший розділ дисертаційної роботи є достатньо насиченим. Варто було б обмежити огляд та аналіз існуючих досліджень в межах оцінки саме процесів проектування роботизованих механоскладальних технологій та можливості підвищення ефективності їх реалізації.

2. Доцільно було б акцентувати увагу на можливу варіативність подальших досліджень у випадку, коли за результатами дослідження рівня L1 на основі МАІ перевагу віддано «класичним» ПР. При цьому зрозуміло, що колаборативні ПР можуть мати обмежені технічні можливості, порівняно з типовими ПР. Окрім того, запропонована методика повною мірою може бути використана і для реалізації РТК з типовими компонентами ПР і тим самим автор дещо звужує можливості запропонованого ним підходу.

3. У дисертаційній роботі не зовсім чітко прослідковується зв'язок між складовими автоматизованої системи технологічної підготовки класичних роботизованих механоскладальних виробництв та відповідно нових колаборативних роботизованих механоскладальних виробництв. Не вказано, які обмеження при цьому накладаються та яка принципова відмінність дій на відповідному етапі прийняття рішень.

4. Матеріал, що наведений у додатку Б доцільно було б використати в основному тексті дисертаційної роботи, а приклад прийняття рішень спрямувати на відповідній технології механоскладального виробництва. Це б дало можливість покращити розуміння та ефективність представленого в розділі 2 дисертаційної роботи формалізованого представлення використаного методу.

5. Здобувач на етапі атестації метрики в програмному середовищі RoboDK застосував тип ПР, наближений до класичного виконання. Цікавим було б порівняння отриманих результатів на даному етапі відповідно з роботом колаборативного типу.

6. У висновках до дисертаційної роботи відсутні числові значення конкретних техніко-технологічних показників, критеріїв та параметрів, що можуть бути покращенні або підвищенні внаслідок використання запропонованої багаторівневої системи, на противагу існуючим методикам аналізу проектних рішень.

7. До практичних здобутків дисертаційної роботи варто віднести розробку програмних засобів для оцінки та оптимізації проектних рішень колаборативних роботизованих механоскладальних технологій.

Висловлені зауваження носять, в основному, рекомендаційний характер та не є принципово визначальними і не зменшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

## **ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК ПРО ДИСЕРТАЦІЙНУ РОБОТУ**

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кравчука Антона Романовича на тему «Багаторівнева система початкового проектування колаборативних роботизованих механоскладальних технологій» є завершеним

науковим дослідженням, що визначається науковою новизною та має практичну цінність. Теоретична частина роботи є ґрунтовною, що дозволяє повною мірою зрозуміти завдання дослідження та їх кінцеву реалізацію. Отримані теоретичні та практичні результати розв'язують наукові завдання, що мають цінність для галузі 13 Механічна інженерія.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 6–9 «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 від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Кравчук Антон Романович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

**Офіційний опонент:**

доцент кафедри робототехніки та  
інтегрованих технологій машинобудування,  
Національного університету  
«Львівська політехніка»  
д-р техн. наук, доцент

Володимир ГУРСЬКИЙ

Підпис офіційного опонента

доцента кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування,  
д-ра техн. наук Володимира ГУРСЬКОГО

засвідчую:

Вчений секретар Національного університету  
«Львівська політехніка»



Роман БРИЛИНСЬКИЙ