

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 «класична» робототехніка з використанням «класичних» промислових роботів (ПР) достатньо повно досліджена та широко впроваджена в різні галузі виробництва. В той же час відносно нова галузь промислової робототехніки, а саме колаборативна промислова робототехніка, що базується на застосуванні колаборативних промислових роботів (КПР), не має такої повноти досліджень. Згідно змісту даного дослідження колаборативна робототехніка в контексті опонованої роботи впроваджується в різногалузеве виробництво в основному на виконавському рівні. На тлі динамічного випуску колаборативних промислових роботів (КПР), темпи випуску яких в рази перевищують темпи випуску «класичних» ПР, важливість їх впровадження та ефективного використання в конкретних виробничих умовах вимагає системності та комплексності відповідних досліджень.

У зв'язку з вищесказаним проведення наукових досліджень, пов'язаних з КПР, їх впровадженням у різногалузеві виробництва, є актуальним, особливо на початкових етапах проектування колаборативних роботизованих механоскладальних технологій, зміст яких в свою чергу є невід'ємною складовою технологічної підготовки роботизованих механоскладальних виробництв. Вказане і винесено в мету даного дисертаційного дослідження.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Аналіз змісту дисертаційної роботи і наукових публікацій дозволяє оцінювати роботу як таку, що має достатньо високий рівень обґрунтованості та достовірності отриманих результатів. Достовірність та обґрунтованість представлених у роботі пропозицій та результатів досліджень ґрунтується не тільки на опрацюванні достатнього об'єму авторитетних наукових інформаційних джерел, більшість з яких індексовані в міжнародних наукометричних базах Scopus та WoS, а і в особистому творчому підході автора при розв'язуванні поставлених в роботі завдань. Результати автора та отримані здобутки відповідають змісту напрямків досліджень, що змістовно відповідають спеціальності 131 – Прикладна механіка.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше з єдиних системних позицій запропоновано багаторівневий підхід реалізації початкових етапів проектування колаборативних роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування, що комплексно враховує сутність колаборативних технологій, конструктивно-технологічні особливості КТР, конструктивно-технологічні властивості об'єктів виробництва.

2. Набула подальшого розвитку процедура системного прийняття технологічних рішень при визначенні завдань колаборативних роботизованих технологій як задач нечіткої багатокритеріальної оптимізації, що розв'язується з комплексним використанням методів аналізу ієрархій (МАІ) та нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив (НБВА).

3. Вперше розроблено новий підхід щодо дослідження технологічних можливостей ПР за рахунок розробки та проведення автоматизованої атестації метрики маніпуляційних систем (МС) ПР як невід'ємної складової технологічної підготовки колаборативних механоскладальних виробництв, що підвищує ефективність та зменшує трудомісткість її (технологічної підготовки) виконання при проектуванні нових та/або модернізації існуючих гнучких виробничих комірок машино- та приладобудування, в тому числі з використанням колаборативних промислових роботів.

Як показує зміст опонованої дисертаційної роботи, поставлені наукові завдання виконані повністю. При цьому здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності як взагалі, так і в конкретному прояві щодо спеціальності «Прикладна механіка» (131). Тому обґрунтованість та достовірність отриманих науково-практичних результатів є очевидними, а саме такими, що містять наукову складову та мають практичне значення. Очевидно, що результати досліджень зацікавили одне із виробничих підприємств, про що свідчить довідка про впровадження, представлена в додатку А1, С. 164 тексту дисертації.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Кравчука А.Р. повністю відповідає освітньо-науковій програмі «Прикладна механіка» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» та напрямкам досліджень відповідно до неї.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння та інші аргументи, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кравчука Антона Романовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні інформаційні джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана грамотною технічною українською мовою.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних інформаційних джерел і додатків.

Загальний об'єм дисертації складає 177 сторінок, з них 115 сторінок основного тексту, 3 таблиці, 68 рисунків, 72 інформаційних джерела та 4 додатки.

Вступ дисертації містить обґрунтування актуальності теми дослідження, формулювання мети та завдань дослідження, огляд інформаційних джерел з відповідної галузі, визначення наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів. Автор пояснює, який внесок обрана тема може зробити в відповідну галузь знань та які проблеми можуть бути вирішені завдяки проведеному дослідженню.

У першому розділі виконано аналіз доступних інформаційних джерел щодо сучасного стану розвитку колаборативних роботизованих технологій при технологічній підготовці роботизованих колаборативних та «класичних» виробництв. Представлено проблему відсутності загальноприйнятих методів та підходів щодо розподілу завдань між людиною та роботом. Визначено мету та завдання даних досліджень.

У другому розділі представлено розроблене методичне забезпечення системи визначення рівня колаборації у технологічній роботизованій системі людина-робот у вигляді трирівневого підходу, який складається із стратегічного рівня L1, тактичного рівня L2 і виконавського рівня L3.

Розроблено та представлено методичку атестації метрики як одну із складових виконавського рівня L3

В третьому розділі представлено інформаційний базис, який вказує на постійні та змінні дані в контексті даного дослідження, а також на інформаційні потоки і зв'язки між процесами і процедурами їх обробки, що системно доповнює представлене в розділі 2 методичне забезпечення.

Описано інформаційну складову атестації метрики, зміст якої зводиться до наявності інформації про положення ланок колаборативних промислових роботів із збереженням певної їх орієнтації у просторі затискного пристрою промислових роботів з/без об'єкта маніпулювання в ньому.

Викладено приклад представлення інформації щодо рекомендацій для реалізації колаборативних промислових роботів у різних виробничих сферах

В четвертому розділі представлено розроблений узагальнений алгоритм роботи методу прийняття технологічних рішень на основі методів аналізу ієрархій для пропонованого трирівневого підходу при аванпроектванні колаборативних роботизованих механоскладальних технологій (КРМСТ), який доповнює та розширює опис розробленого методичного та інформаційного забезпечення, що висвітлені в розділі 2 та розділі 3 відповідно.

Представлено результати експертного опитування з використанням методів аналізу ієрархій на рівнях L1 та L2 при кількості експертів $|E|=3$ та оброблено отриману інформацію із використанням оригінального програмного продукту FMCSA (Fuzzy Multi Criteria Selection of Alternatives).

Запропоновано новий підхід щодо вивчення технологічних можливостей КІР в частині визначення певних параметрів робочих зон аналізованого робота. Його основою є атестація метрики маніпуляційної системи колаборативних промислових роботів. Отримані результати представлено у вигляді 3D-моделей

робочих зон, в яких зберігається задана користувачем орієнтація затискного пристрою.

На базі запропонованого методичного забезпечення, описаного в розділі 2, висвітлено загальний алгоритм процесу атестації метрики МС колаборативних промислових роботів як однієї із можливих складових реалізації виконавського рівня L3.

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

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

За результатами проведених досліджень опубліковано 13 наукових праць, із них 3 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у періодичних наукових виданнях, індексованих у міжнародних науко-метричних 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.

Результати дисертації були апробовані на 8 різного рівня наукових фахових конференціях. Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, достатньо повно висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В роботі не висвітлено, а тому і не проведено досліджень щодо комплексного використання на рівні L1 результатів, отриманих після методів аналізу ієрархій, що в свою чергу є вхідними даними для програмного продукту FMCSA (Fuzzy Multi Criteria Selection of Alternatives), які в основному мають дещо інші співвідношення між кінцевими оцінками для різних експертів.

2. Із матеріалів дисертації є незрозумілим, яким чином передаються дані як результат функціонування частин окремих відомих та доступних програм, наприклад, як дані з SolidWorks передаються до RoboDK.

3. На мою думку недостатньо обґрунтованим є використання розробленого програмного продукту FMCSA (Fuzzy Multi Criteria Selection of Alternatives), що дозволяє автоматизовано розв'язувати задачі нечіткого багатокритеріального вибору альтернатив.

4. В дисертації розглядаються запропонована методика для колаборативних промислових роботів із 5-6 степенями свободи, що при однаковому положенні та орієнтації захоплювального пристрою можуть мати декілька можливих конфігурацій положення ланок робота. Це впливає на робочу зону та можливість побудови безперервної траєкторії промислового робота. Проте більшість сучасних колабораційних роботів KUKA, Franka Emika, Doosan, UFactory, Kinova, та інші, мають 7 степенів свободи, що значно збільшує кількість варіантів положень ланок робота для одного положення та орієнтації захоплювача. Тому отримані результати, лише частково розглядають проектування колаборативної робототехніки.

5. На рис. 2.3–2.7 подано різний рівень деталізації SADT (Structured Analysis and Design Technique) - представлення інформаційних потоків при реалізації методик, що розроблені в роботі. Це дещо ускладнює загальне сприймання представленого таким чином матеріалу.

6. На мою думку, доцільно було б представити в розширеному змісті матеріал, що ілюструє використання колаборативних технологій в інших галузях виробництва.

Вважаю, що висловлені зауваження та недоліки не є визначальними і тому не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кравчука Антона Романовича на тему *«Багаторівнева система початкового проектування колаборативних роботизованих механоскладальних технологій»* виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є самостійним закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 Механічна інженерія.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені 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 автоматизації технологічних процесів і виробництв,
Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя,
к.т.н., доц.

Роман МИХАЙЛИШИН

Підпис оф. опонента

к.т.н., доц. Р.І. Михайлишина
засвідчую.

Проректор з наукової роботи
Тернопільського національного
технічного університету
імені І. Пулюя,
д.т.н., проф.



Павло МАРУЩАК