

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Михайлишина Романа Ігоровича

**“Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій”**,  
представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.05.05 – піднімально-транспортні машини

### 1. Актуальність теми дисертації

Одним з основних напрямків розвитку засобів автоматизації в різних галузях виробництва є використання маніпуляційних пристроїв (маніпуляторів) різного конструктивного виконання, включаючи маніпуляційні системи промислових роботів, для виконання вантажно-розвантажувальних, транспортних та складських операцій. Це підвищує рівень автоматизації виробничих процесів, покращує культуру виробництва, дозволяє підвищити якість продукції та знизити її собівартість, а також звільнити робітників від важкої, монотонної праці, що особливо важливо для шкідливих умов виробництва.

Застосування маніпуляторів із струминними захоплювальними пристроями (СЗП) значно розширює можливі технологічні рішення щодо виконуваних маніпуляторами функцій в частині споживаних енергозатрат.

Автором опонованої тут роботи запропоновано моделі динамічної взаємодії захоплювача маніпулятора з вантажем під час транспортування. Їх принциповою особливістю є можливість визначення оптимальної орієнтації захоплювача у процесі транспортування, що дозволяє знизити енергетичні затрати на утримування вантажу. Вказане досягається завдяки такому положенню захоплювального пристрою, при якому сили тяжіння, інерції та лобового опору повітря відіграють позитивну роль у процесі транспортування.

Враховуючи вимоги, які ставляться до захоплювальних пристроїв маніпуляторів при виконанні ними вантажно-розвантажувальних операцій, ефективним є застосування запропонованих автором конструкцій надійних у роботі струминних захоплювачів для вантажів плоскої та циліндричної форми. Їм властиві високі експлуатаційні показники та ряд суттєвих переваг порівняно з існуючими захоплювачами.

Вказане вище та з врахуванням того, що в останні роки середньорічний приріст випуску та впровадження у виробництво промислових роботів, що містять виконавчі механізми у вигляді маніпуляторів, становить біля 15%, дисертаційна робота Михайлишина Р.І. є актуальною та своєчасною.

Дисертаційна робота написана в рамках тематики і плану науково-дослідної роботи кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (НДР ВК55-16 “Розробка моделей для оптимізації орієнтації кисті промислового робота”, номер державної реєстрації 0116U005075).

## **2. Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наукова новизна представленої роботи стисло полягає в тому, що запропоновані математичні моделі динамічної взаємодії СЗП з вантажем, що є новими при його (вантажі) транспортуванні по гвинтовій траєкторії та удосконаленими при його транспортуванні по прямолінійній траєкторії, враховують зміщення центра мас вантажу, вплив сил лобового опору повітря та відцентрових сил, що в загальному випадку дозволяє мінімізувати енергетичні затрати при виконанні вантажно-розвантажувальних операцій.

Дані моделі дозволяють визначити оптимальну щодо енерговитрат орієнтацію СЗП в процесі транспортування вантажу при виконанні вантажно-розвантажувальних операцій.

Дисертантом представлено теоретичні залежності для розрахунку мінімальної необхідної сили утримування вантажу та кутів оптимальної орієнтації СЗП.

Запропоновано конструкції пневматичних захоплювачів, що володіють кращими силовими характеристиками та забезпечують стабільність утримування вантажу за рахунок розсосередження зон взаємодії з вантажем. Новизна технічних рішень підтверджена відповідними патентами України.

Аналіз динаміки взаємодії захоплювального пристрою і вантажу проведено з використанням методів математичного моделювання та теоретичної механіки.

Обґрунтування результатів досліджень базуються на тому, що характер зростання мінімальної необхідної сили притягання струминним захоплювальним пристроєм вантажу істотно залежить від прискорення, з яким рухається захоплювач, від зміщення центру мас вантажу відносно захоплювального пристрою та від коефіцієнта тертя між фрикційними елементами СЗП та контактними поверхнями вантажу. Встановлено, що суттєвий вплив на мінімальну силу притягання, а отже і на затрати енергії СЗП, мають конструктивні параметри струминних захоплювачів, зокрема, розміщення фрикційних елементів та взаємне розташування зон взаємодії захоплювача із вантажем.

Автором представлено конструкцію струминно-вакуумного захоплювача, досліджено його силові характеристики, обґрунтовано вибір оптимальних параметрів для забезпечення стабільного утримування вантажу при транспортуванні.

## **2. Достовірність і новизну висновків і рекомендацій**

Підтвердження достовірності результатів моделювання та уточнення аналітичних залежностей автор проводилось шляхом експериментальних досліджень. Для цього було спроектовано та виготовлено спеціальне устаткування та проведено необхідні експериментальні дослідження на базі сучасного промислового робота моделі IRB 4600.

Методикою експерименту передбачено проведення статичних та динамічних досліджень, вимірювання силових параметрів струминного

захоплювача з метою забезпечення необхідних показників точності позиціонування та стабільності утримування вантажу у процесі виконання маніпулятором вантажно-розвантажувальних операцій.

Обробку отриманих результатів експериментального масиву проведено згідно загальновідомих методик та методів статистичної обробки з використанням t-критерію Стьюдента.

Моделювання роботи і симуляції системи “маніпулятор-захоплювач-вантаж” виконано із застосуванням сучасного програмного пакету RobotStudio.

Аналіз експериментальних досліджень підтвердив достовірність отриманих теоретичних залежностей, що свідчить про їх придатність для практичних розрахунків. Відхилення теоретичних значень від експериментальних не перевищує 5%.

#### **4. Практичне значення отриманих результатів**

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень автором розроблена інженерна методика розрахунку оптимальної орієнтації захоплювальних пристроїв маніпуляторів для мінімізації енергетичних затрат захоплювача на утримування вантажу під час виконання вантажно-розвантажувальних операцій.

В роботі подано математичні методики щодо визначення ряду конструктивних та експлуатаційних характеристик, необхідних при проектуванні струминних захоплювальних пристроїв та інших захоплювачів утримуючого та підтримуючого типів.

Автором представлено конструкції пневматичних захоплювачів промислових роботів для захоплення вантажів за плоску та/або циліндричну поверхню. Вони забезпечують підвищену стабільність утримування вантажів під час виконання маніпулятором вантажно-розвантажувальних операцій.

Матеріали дисертаційного дослідження достатньо оприлюднені в публікаціях, апробовані на наукових семінарах та конференціях.

#### **5. Оцінка змісту роботи в цілому**

Основана частина дисертаційна роботи викладена на 185 сторінках комп'ютерного набору тексту, містить 6 додатків, викладених на 14 сторінках, проілюстрована 102-ма рисунками та 8-ма таблицями. Структура роботи є загальноприйнятною, а саме: вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних інформаційних джерел 130 найменувань, додатки.

У **вступі** доведено актуальність теми дисертації та обґрунтовано необхідність розв'язання поставлених завдань.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану та практики захоплення і транспортування вантажів маніпуляторами промислових роботів, а саме аналіз щодо: оптимізації рухів маніпулятора; зниження енергетичних витрат на транспортування вантажу; методів планування траєкторій маніпулятора під час виконання вантажно-розвантажувальних операцій та методів захоплення вантажів. Розглянуто струминні захоплювальні пристрої маніпуляторів як альтернативу контактному і безконтактному утримування

вантажів: будову, принцип роботи, особливості конструкції ежекційних струминних захоплювальних пристроїв; визначення сили притягання захоплювальних пристроїв струминного типу; переваги та недоліки струминних захоплювачів. Визначено мету та завдання дослідження.

У другому розділі наведено теоретичні дослідження динамічної взаємодії СЗП з вантажем в процесі транспортування. Запропоновано математичні моделі динамічної взаємодії СЗП з вантажем при його транспортуванні по прямолінійній та/або гвинтовій траєкторії, що враховують зміщення центра мас вантажу, вплив сил лобового опору повітря та відцентрових сил. Досліджено вплив параметрів руху маніпулятора на силу утримування вантажу СЗП. Запропоновано та обґрунтовано метод оптимізації орієнтації захоплювального пристрою маніпулятора в процесі транспортування вантажу по прямолінійній та/або гвинтовій траєкторії.

У третьому розділі представлено методику експериментальних досліджень силових характеристик захоплюваних пристроїв, описано принцип роботи дослідної установки, наведено результати експериментальних досліджень та їхню статистичну обробку. Досліджено вплив параметрів руху на мінімальну необхідну силу притягання при транспортуванні вантажів по прямолінійній та/або гвинтовій траєкторії. Довірлива вірогідність обробки експериментальних даних склала 0,95.

Четвертий розділ присвячений дослідженню енергоефективності завантажувально-розвантажувальних операцій на базі СЗП. Досліджено вплив масо-габаритних параметрів вантажу на оптимальну орієнтацію та мінімальну необхідну силу притягання вантажу при його транспортуванні по прямолінійній та/або гвинтовій траєкторії. Визначено енергетичні затрати на транспортування вантажів для різних схем вантажно-розвантажувальних операцій.

У п'ятому розділі представлено методи підвищення вантажопідймальності пневматичних захоплювальних пристроїв та забезпечення стабільності утримування вантажу в них. Обґрунтовано конструкції та параметри безконтактних струминно-вакуумних та струминних захоплювальних пристроїв. Представлена методика інженерного розрахунку параметрів СЗП при виконанні вантажно-розвантажувальних операцій. Запропоновано рекомендації по застосуванню та впровадженню методу оптимізації орієнтації струминного захоплювального пристрою під час автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій.

## **6. Зауваження до роботи**

1. В дисертації досліджено обмежена множина траєкторій переміщення вантажу, а саме, тільки прямолінійна та гвинтова, причому остання тільки з геометричними параметрами – кут підйому та радіус циліндричної поверхні. Реальні ж траєкторії мають значно більшу їх кількість перш за все за рахунок поєднань розглянутих та інших форм траєкторних складових, наприклад, гвинтова типу пружинної спіралі, що сходиться або розходиться; спіралі, що має осьову складову (типу конус тощо). Вказане затрудняє визначення сумарних енерговитрат впродовж реалізації

- траєкторій, що описуються не тільки розглянутими в роботі.
2. Аналізовані види траєкторій – лінійна та гвинтова – розглянуті та досліджені як ідеальні, тобто такі, що не передбачають можливих колізій (зіткнень) з перепонами. Це значно обмежує практичну складову отриманих результатів.
  3. В текстовій частині дисертації та автореферату описано проведення певних досліджень траєкторій, що реалізуються на часовому інтервалі початку та закінчення їх (траєкторій) відпрацювання, тобто передбачається, що тривалість цього інтервалу відома. В той же час нечітко вказується наступне: або тривалість цього інтервалу попередньо обчислюється, або його тривалість задається, причому, не вказується з яких саме міркувань. В залежності від цього може мінятись і зміст, і розуміння як проведених досліджень, так і отриманих результатів.
  4. Серед інших параметрів, що досліджуються в роботі, є орієнтація СЗП, що закріпленій на останній ланці маніпулятора. В той же час орієнтації інших складових маніпуляційної системи (маніпулятора) не досліджуються. А це важливо для маніпуляторів з надлишковою кінематичною структурою, так як в результаті не виключеними можуть бути іншими пропорції щодо переваг та недоліків отриманих кінцевих результатів.
  5. У роботі справедливо зазначено, що суттєвий вплив на мінімальну необхідну силу притягання має прискорення кінцевої ланки маніпулятора. Але інтервал вказаних прискорень, при яких забезпечується мінімальне енергоспоживання комплексом “маніпулятор-захоплювач-вантаж”, не визначено. А саме цей показник значною мірою визначає важливість та корисність отриманих практичних результатів та впливає на формування практичних рекомендацій щодо вказаного.
  6. У дисертації вказано, що запропоновані математичні моделі доцільно застосувати також для інших захоплювачів підтримуючого та утримуючого типів. Тому доречним було в розділі 5 надати інформацію щодо застосування тих чи інших складових отриманої моделі для проектування вакуумних, електромагнітних, електростатичних та інших захоплювачів згаданих типів. Це значно підвищило б значимість практичних результатів роботи.
  7. Доцільно було б розглянути можливість використання декількох (трьох, чотирьох) захоплювачів та адаптувати для таких схем представлені автором методики оптимізації орієнтації захоплювачів з визначенням закономірностей перерозподілу енергоносіїв при різних схемах взаємодії СЗП з габаритним вантажем при його транспортуванні. Результати цього мали б очевидну і наукову, і практичну складову.

Вказані зауваження не є принциповими, в основі своїй носять рекомендаційний характер в контексті розширення отриманих результатів відповідно до виконання поставлених в роботі завдань і тому не знижують наукової та практичної цінності опонованої дисертаційної роботи. Заслуговує

на увагу впровадження результатів роботи на конкретному підприємстві.

### Висновки

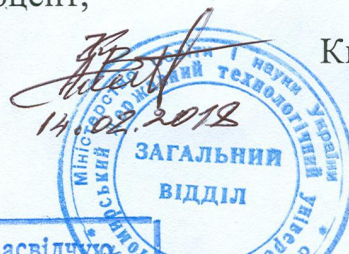
Дисертаційна робота Михайлишина Романа Ігоровича є завершеним самостійним науковим дослідженням, характеризується науковою новизною та науково-практичною цінністю. Текстова складова дисертаційної роботи та автореферату викладені логічно, з чітким визначенням мети та завданнями, що реалізовані здобувачем для її досягнення. Теоретична частина роботи є ґрунтовною, що дозволяє повною мірою зрозуміти завдання дослідження та їх кінцеву реалізацію.

Зміст автореферату об'єктивно висвітлює отримані у дисертаційному дослідженні результати і відповідає тексту дисертації.

За результатами комплексно-системного аналізу та співставлення отриманих результатів дослідження із поставленими метою та завданнями, а також на підставі аргументованої обґрунтованості наукових положень, висновків та практичних рекомендацій, поданих в роботі, **вважаю**, що дисертаційна робота на тему "Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій" відповідає вимогам щодо змісту п.п. 9, 11 та 12 "Порядку присудження наукових ступенів" та іншим вимогам, що пред'являються в Україні до захисту кандидатських дисертацій, а її автор Михайлишин Роман Ігорович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.05 – піднімально-транспортні машини.

Офіційний опонент,  
професор кафедри автоматизації та  
комп'ютерно-інтегрованих технологій  
імені професора Б.Б. Самотокіна  
Житомирського державного  
технологічного університету,  
доктор технічних наук, доцент,  
відмінник освіти України

Кирилович Валерій Анатолійович



Вірність підпису засвідчую  
Начальник загального відділу  
Маркова Г.В.