

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

**Миговича Артура Володимировича**

на тему «Оптимізація процесу контурного фрезерування на верстатах з ЧПК»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 – Механічна інженерія

за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

### **Актуальність теми дисертації.**

Відомо, що під час контурного фрезерування складних поверхонь змінюється навантаження на інструмент і верстатну систему, що призводить до коливань сили та потужності різання. Такі коливання знижують точність обробки, погіршують якість поверхні. Дисертаційна робота Миговича Артура Володимировича присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі – підвищенню продуктивності процесу контурного фрезерування на верстатах з ЧПК шляхом стабілізації параметрів різання та подальшій оптимізації процесу.

Дослідження цієї проблеми має теоретичну та практичну значущість для машинобудування, зокрема в галузях авіабудування, штампового виробництва, виготовлення прес-форм і прототипів. Розроблена математична модель процесу враховує квазістаціонарний характер фрезерування та дозволяє моделювати зміну швидкості видалення матеріалу (MRR) вздовж траєкторії руху фрези. На її основі реалізовано алгоритм управління подачею, що забезпечує стабілізацію процесу різання. Це створює передумови для подальшої оптимізації режимів обробки з урахуванням технологічних і конструкторських обмежень.

У межах дисертаційної роботи сформульовано задачу оптимізації процесу контурного фрезерування з метою підвищення продуктивності (мінімізації часу обробки) за умов дотримання всіх необхідних обмежень. Для реалізації цієї задачі розроблено прикладну програму, яка автоматизує вибір оптимальних режимів різання з урахуванням геометрії заготовки, параметрів інструмента та обмежень обладнання.

Ефективність запропонованого підходу підтверджено експериментальними дослідженнями, проведеними на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК НААС ТМ-0Р. У порівнянні з сучасними САМ-рішеннями SolidCAM та iMachining зафіксовано істотне скорочення тривалості обробки та підвищення стабільності силових характеристик процесу. Отримані результати підтверджують доцільність і практичну готовність впровадження розробленого алгоритму в умовах реального виробництва.

Таким чином, результати дисертаційної роботи становлять вагомий внесок у вирішення актуальної інженерної задачі в галузі контурного фрезерування. Запропоновані рішення демонструють високий рівень наукової обґрунтованості та практичної реалізованості, а їх впровадження відкриває реальні перспективи для підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств, які працюють у сфері механічної обробки.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено математичну модель, що дозволяє моделювати зміну швидкості видалення матеріалу (MRR) уздовж траєкторії руху інструмента з урахуванням геометрії оброблюваного контуру.

2. Побудовано математичну модель для визначення сили різання на основі параметрів процесу та положення інструмента на траєкторії, що дозволяє прогнозувати значення сили різання під час контурного фрезерування.

3. Запропоновано спосіб стабілізації процесу різання на основі регулювання подачі для підтримання постійного значення швидкості видалення матеріалу (MRR), що забезпечує рівномірні умови обробки.

4. Сформульовано задачу оптимізації процесу контурного фрезерування з метою мінімізації часу обробки за умови дотримання всіх необхідних технологічних та конструкторських обмежень.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі Технології машинобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом наукового керівника кафедри, доктора технічних наук, професора Петракова Юрія Володимировича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання – розроблення методики і програмних засобів для оптимізації та стабілізації процесу контурного фрезерування на верстатах з ЧПК, що дасть змогу збільшити продуктивність фрезерної операції та забезпечить дотримання конструкторських вимог до виробу – виконано повністю. Здобувач продемонстрував здатність до самостійного проведення наукових досліджень та повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Миговича А.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Прикладна механіка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Миговича Артура Володимировича 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 відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота виконана українською мовою. Виклад матеріалу відповідає академічному стилю, прийнятому в технічних науках. Текст відзначається логічністю, послідовністю та чіткою структурованістю. У роботі коректно застосовано загальновживану інженерну й науково-технічну термінологію.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 142 сторінки.

У **вступі** наведено загальну характеристику дослідження, обґрунтовано його актуальність, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів. Окремо подано дані щодо апробації, публікацій, структури та обсягу роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз проблематики контурного фрезерування складних геометричних контурів. Розглянуто методи управління процесом різання, підходи до стабілізації параметрів обробки та сучасні можливості САМ-систем. На основі критичного огляду літератури сформульовано мету та задачі дослідження.

У **другому розділі** описано математичну модель, яка дозволяє моделювати зміну швидкості видалення матеріалу (MRR) та сили різання вздовж траєкторії інструмента. Наведено методи чисельного аналізу, що покладені в основу прикладної програми.

У **третьому розділі** представлено розроблений спосіб стабілізації процесу різання, що базується на регулюванні подачі задля підтримання сталої швидкості видалення матеріалу. Описано програмний модуль, який реалізує цей підхід та генерує нові управляючі програми записані в G-кодів. Наведено

результати моделювання та експериментального дослідження, порівняно з існуючими САМ-рішеннями (SolidCAM, iMachining).

У четвертому розділі викладено сформульовану задачу оптимізації процесу контурного фрезерування, розроблено відповідну математичну модель та реалізовано її у вигляді прикладної програми. Результати чисельного моделювання й натурних експериментів, проведених на верстаті HAAS TM-OP, підтверджують ефективність запропонованого підходу.

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.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus, з яких 1 стаття у виданні, віднесених до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank і Journal Citation Reports; 1 патент України на корисну модель.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

– У роботі застосовано лише метод лінійного програмування для вирішення задачі оптимізації. Було б доцільно порівняти з альтернативними підходами та обґрунтувати вибір саме цього методу для умов контурного фрезерування.

– У роботі вказано, що під час оптимізації враховано обмеження на стійкість інструмента, однак не проаналізовано, як зміна режимів різання впливає на цей параметр.

– Враховуючи значущість детермінованої складової у формуванні шорсткості поверхні, доцільно було б проаналізувати її вплив на параметри Ra та Rz.

– У роботі вимірюються лише компоненти сили різання по осях X та Y, проте для повного уявлення про процес різання доцільно було б також виміряти сили різання вздовж осі Z.

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


### **Висновок про дисертаційну роботу.**


Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Миговича Артура Володимировича на тему «Оптимізація процесу контурного фрезерування на верстатах з ЧПК» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для 13 – Механічної інженерії. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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 Мигович Артур Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

### **Рецензент:**

Професор кафедри  
конструювання машин  
Національного технічного  
університету України  
«Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»  
доктор технічних наук, професор

  
Підпис гр. \_\_\_\_\_  
ЗАСВІДЧУЮ  
Відділ кадрів та діловодства  
Юрій КУЗНЕЦОВ  
Підпис \_\_\_\_\_



М.П.

« 11 » серпня 2023 року