

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Сікайла Максима Олександровича

на тему «Усунення вібрацій при кінцевому фрезеруванні на верстатах з ЧПК»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 – Механічна інженерія

за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

Актуальність теми дисертації.

Актуальність теми дисертаційної роботи Сікайла Максима Олександровича «Усунення вібрацій при кінцевому фрезеруванні на верстатах з ЧПК» полягає у підвищенні якості обробки при фрезеруванні за рахунок дослідження вібрацій, які виникають в процесі різання. Вібрації є комплексним фізичним явищем, яке необхідно розглядати як похідне від впливу таких елементів динамічної системи як ріжучий інструмент, матеріал заготовки, конструкція верстата та режими різання. Як наслідок вібрації призводять до погіршення якості поверхні, падіння точності розмірів деталі, підвищеного шуму, необхідності частої заміни та ремонту інструменту, пошкодження верстата, зниження продуктивності обробки, тобто до загального погіршення процесу фрезерування та збільшення загальних витрат на обробку.

Дослідження проблеми стійкості різання та розробка ефективних методів контролю вібрацій мають велике значення для промисловості, зокрема для сфери машинобудування та авіаційної промисловості. Дані дослідження можуть бути використані як база для вдосконалення систем ЧПК та розробки нових алгоритмів та методів для ефективного контролю вібрацій в реальному часі.

Здобувачем була розроблена методика ідентифікації динамічних характеристик обробної системи та створена прикладна програма, яка дозволяє автоматично побудувати діаграму стійкості при фрезеруванні кінцевою фрезою для заданих умов оброблення. Результати були апробовані експериментальним шляхом.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Матеріал, викладений в дисертаційній роботі Сікайла Максима Олександровича свідчить про достатню обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, що виносяться на захист. Всі такі положення і рекомендації та розробки перевірені експериментальними дослідженнями.

Теоретичні розробки здобувача втілені в програмний продукт, що є інженерним засобом підготовки операцій кінцевого фрезерування на верстатах з ЧПК. Таким чином, результати дисертаційного дослідження доведені до практичного інженерного використання.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше розроблено математичну модель 4-го порядку процесу фрезерування кінцевими фрезами, яка відтворює реальні процеси пружної системи з урахуванням замкненості ТОС, перехресних зв'язків за двома координатами і оброблення за слідом;
- вперше розроблено алгоритм автоматичного проектування діаграми стійкості в координатах складових режиму різання, який ґрунтується на новому критерії стійкості систем з запізненням в позитивному зворотному зв'язку;
- вперше створено методику ідентифікації динамічних параметрів ТОС та силових характеристик при кінцевому фрезеруванні.

Теоретичні дослідження ґрунтуються на використанні основних положень технології машинобудування, теорії автоматичного управління, теорії коливань, динаміки верстатів, чисельних методів моделювання та спектрального аналізу при розробці динамічної моделі фрезерування.

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.

Це підтверджує обґрунтованість наукових положень та висновків, зроблених в дисертаційній роботі, поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами та темами.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до наукового напрямку «Нові речовини і матеріали. Створення та застосування технологій отримання, зварювання, з'єднання, діагностики та оброблення конструкційних, функціональних і композиційних матеріалів» на кафедрі технології машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Результати дисертаційної роботи використані при виконанні держбюджетної НДР «Цифрові технології оптимального управління процесами механічного оброблення деталей з аеродинамічними твірними і поверхнями» Договір № 2606-п від 29.03.2023 р.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Сікайла М.О. 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 інноваційний 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 збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сікайла Максима Олександровича 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 написана державною мовою. Викладення матеріалу логічне і відповідає стилю наукових досліджень в плані застосування термінів і понять, що характерні для технічної лексики. Всі терміни і скорочення мають відповідні пояснення.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 149 сторінок.

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми дослідження, розкритий зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульована мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** наведена системна класифікація вібрацій які виникають в технологічній оброблюваній системі, причини їх виникнення і негативні наслідки, які вони спричиняють. Проведено огляд та аналіз методів усунення вібрацій при фрезеруванні, зокрема пасивних методів, що базуються на зміні динамічних параметрів обробної системи, та активних, що потребують включення в обробну систему генератора коливань у протифазі. Сформульована актуальність дослідження питання усунення вібрацій при кінцевому фрезерування на верстатах з ЧПК. Розглянуто існуючі методи побудови діаграми сталості, на основі якої проводиться вибір «безвібраційних» режимів різання. Сформульована мета і задачі досліджень.

У **другому розділі** розроблена математична модель, яка представляє динамічну обробну систему як одномасову з двома степенями свободи, що охоплена негативними зворотними зв'язками за напрямом двох координат. Вплив на динаміку системи при обробці по сліду враховується позитивними зворотніми зв'язками з функцією запізнення в кожному. Математична модель представлена у формі змінних стану, що адаптує її до безпосереднього застосування чисельних методів моделювання. Представлені розрахункові

схеми та структурні схеми, отримані при застосуванні системного підходу до представлення математичної моделі.

У **третьому розділі** описано створену прикладну програму, яка моделює процес фрезерування кінцевими фрезами у часовому та частотному просторі та наведено її лістинг. Програма враховує частоту власних коливань по кожній осі, коефіцієнт затухання коливань, жорсткість по осях, ширину різання, діаметр фрези та кількість зубів, також параметри заготовки у вигляді коефіцієнтів різання. Для визначення сталості обробної системи використаний новий критерій сталості на базі діаграми Найквіста для процесу фрезерування кінцевими фрезами, та створений алгоритм автоматичної побудови діаграми сталості. Дієвість нового критерію підтверджена за допомогою моделювання процесу фрезерування для різних параметрів обробної системи у часовому та частотному просторі.

У **четвертому розділі** створена вимірювальна система для фіксації силових характеристик обробної системи, описані основні параметри та схеми підключення. Проведений огляд апаратних засобів які використовуються для визначення динамічних характеристик обробної системи. А саме, визначення жорсткості та частотної передатної функції. Запропоновані та апробовані на практиці схеми наладки для вимірювання жорсткості та знаходження частоти власних коливань обробної системи. Вони дозволяють оперативно визначити динамічні параметри конкретної оброблюваної системи на підприємстві, що дозволяє технологу-оператору верстату автоматично побудувати діаграму сталості саме для його варіанту оброблення. Експериментальним методом знайдені динамічні параметри вертикально-фрезерного верстату мод. 6M13 та обробляючого центру з ЧПУ XYZ VMC 1010.

У **п'ятому розділі** представлена побудована діаграма сталості для обробляючого центру з ЧПУ XYZ VMC 1010. Вибрані режими різання та інструмент для проведення експерименту з фрезерування на верстаті. Адекватність отриманих результатів підтверджена як комп'ютерним моделюванням, так і натурним експериментом фрезерування при режимах різання, які потрапляють в область сталості та несталості на графіку діаграми

сталості. Оцінка рівня вібрацій в системі виконувалась за профілографами шорсткості оброблених на різних режимах поверхонь.

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 11 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до квартилю Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 7 тез виступів на наукових конференціях; 2 статті, що додатково відображають результати дисертації.

Також результати дисертації були апробовані на 7 наукових фахових конференціях.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Обсяг першого розділу дещо перевищує необхідну величину і не сконцентрований на темі дисертації

2. При використанні вимірювальної техніки, зокрема ударного молотка, необхідно було б вказати на накінцівник (м'який, жорсткий тощо), який забезпечує необхідну динамічну характеристику відгуку.

3. Бажано було б навести ще практичні результати перевірки адекватності запропонованого методу.

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 Сікайла Максима Олександровича на тему «Усунення вібрацій при кінцевому фрезеруванні 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 галузі знань Механічна інженерія. 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 Сікайло Максим Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Рецензент:

Старший викладач кафедри конструювання машин

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут

Імені Ігоря Сікорського»,

кандидат технічних наук



М.П.

« 31 » травня 20 24 року