

До спеціалізованої вченої ради  
Д12.105.02 в Донбаській  
державній машинобудівній  
академії

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Донченка Євгенія Івановича**  
**«Підвищення ефективності фрезерування на основі дослідження та**  
**розробки автоматизованої системи діагностики фрез»**,  
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та  
інструменти

### **1. Актуальність теми дисертації**

Відомо, що інтенсифікація режимів різання при фрезеруванні обмежується втратою динамічної усталеності технологічної системи та відповідним зниженням надійності фрези. Загалом, автоколивання неприпустимо значної амплітуди, що можуть виникати при фрезеруванні обмежують продуктивність процесу, а також різко знижують стійкість інструменту та негативно впливають на інші технологічні показники.

Слід зауважити, що виникнення динамічної нестійкості технологічної системи верстату при інтенсивному різанні викликається, як правило, вторинними збудженням автоколивань через вібраційні сліди від попередніх проходів. Також на динаміку торцевого фрезерування значно впливають і випадкові фактори. Тому прийнято вважати, що для оцінки динамічності процесу при фрезеруванні дуже зручно використовувати такий показник як рівень вібрацій.

В зв'язку з цим нагальною потребою є поглиблення наукових досліджень щодо торцевого фрезерування, які сприяли б створенню систем контролю рівня вібрацій та належного стану металорізального інструменту, придатних як для ново створюваного, так і модернізованого обладнання.

На підставі зазначеного вище, актуальною науково-технічною задачею, яка вирішується в дисертаційній роботі, що представлена до опонування, є

підвищення ефективності фрезерування на основі дослідження та розробки автоматизованої системи діагностики фрез. При цьому передбачене впровадження універсального критерію для діагностики динамічних процесів, що мають місце у технологічній системі та розробка на підставі оціночного критерію програмно-апаратного модулю оцінки рівня вібрацій і діагностики руйнування різального інструменту.

## **2. Наукова новизна одержаних результатів**

Вагомими положеннями наукової новизни одержаних результатів є те, що в дисертації отримали подальший розвиток відомі математичні моделі діагностики технологічної системи в процесі фрезерування. При цьому враховувались фактори, які викликають виникнення небажаних вібрацій.

Дисертантом вперше запропонований комплексний параметр оцінки динамічної якості процесу торцевого фрезерування у вигляді сукупності вібраційних сигналів.

Важливим є те, що в дисертаційній роботі представлена структурна схема вдосконаленої математичної моделі процесу фрезерування, що враховує взаємодію окремих зубів фрези при різанні «по сліду».

Автором вперше побудовані математичні моделі, що описують ймовірності безвідмовної роботи фрези, і в результаті прогнозують рівень її надійності при відмові певного зуба.

Наведені наукові результати є новими і до даного часу не були відомими.

## **3. Практична цінність одержаних результатів**

Найбільш важливими науковими результатами з точки зору практичної цінності є розроблені автором методики: а) оцінки в режимі реального часу стану різального інструменту в процесі обробки на основі запропонованого інтегрального критерію динамічної якості фрезерування; б) визначення періоду регламентованої заміни фрези для забезпечення раціонального рівня її надійності.

Також важливою є розроблена в дисертації система діагностики, яка дозволяє прогнозувати відмову інструменту на основі моделювання амплітудно-частотних параметрів вібрацій.

Значну практичну цінність має розроблений і впроваджений у виробництво на Дружківському машинобудівному заводі програмно-апаратний комплекс діагностики різального інструменту для вертикально-фрезерних верстатів VM127M. За допомогою такого комплексу досягнуте підвищення продуктивності фрезерування до 5% та зниження витрат твердосплавного матеріалу до 15%. При цьому річний економічний ефект від впровадження результатів роботи на цьому підприємстві становить 38670 грн.

Практичне значення роботи підсилює розроблений і впроваджений на науково-виробничій фірмі «Інтрис» програмно-апаратний комплекс діагностики малозубих фрез «Мрія-Міні» для різних типів фрезерних верстатів. Особливо важливою є безпосередня участь дисертанта у виконанні великої кількості держбюджетних тем.

Матеріали досліджень використовуються у навчальному процесі ДДМА.

#### **4. Апробація роботи та її відповідність планам наукових досліджень**

Дисертаційна робота Донченка Є.І. виконана в рамках держбюджетних тем Донбаської державної машинобудівної академії, у дослідженнях яких дисертант брав участь: Д-04-99 «Дослідження й розробка методів ідентифікації параметрів технічного стану об'єктів автоматизації» (№ державної реєстрації 0199U001563), Д-01-02 «Дослідження й розробка засобів адаптивного керування об'єктами машинобудування й металургії» (№ 0103U004445) і Д-03-05 «Удосконалення методів і засобів керування в наукомістких технологічних системах машинобудування» (№ 0105U007247); Д-06-07 «Розробка інтегрального комплексу оптимального управління адаптивною технологічною системою важких верстатів» (№0107U001306); Дк-08-04 «Удосконалювання технологічного середовища для автоматизованого виробництва продукції важкого машинобудування» (№0105U002445); Д-06-2007 «Розробка

інтегрального комплексу оптимального управління адаптивною технологічною системою важких верстатів» (№0107U001306); Д-05-2009 «Розробка інформаційних технологій для систем адаптивного управління процесом механічної обробки деталей на важких верстатах» (№0109U002669); Дк-06-2011 «Підвищення ефективності автоматизації технологічних процесів металургії та машинобудування» (№0111U007640); Дк-03-2016 «Удосконалення енергозберігаючих методів та засобів автоматизації технологічних систем машинобудування та металургії» (№0116U005582); Дк-07-2019 «Підвищення ефективності виробничих процесів машинобудування та металургії шляхом впровадження автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» (№0119U103179).

Основні положення та результати дисертаційної роботи були представлені, обговорені та одержали схвалення на 8-ми міжнародних наукових та науково-практичних конференціях, в тому числі одній – закордоном (Словаччина). У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на розширеному науковому семінарі кафедр Донбаської державної машинобудівної академії.

## **5. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень дисертації**

При проведенні як теоретичних, так і експериментальних досліджень автор спирався на основні методи положень теорії різання металів, опору матеріалів, теорії пружності, теорії коливань, математичного моделювання, конструювання верстатів та інструментів, засобів математичного і комп'ютерного моделювання.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням сучасної вимірювальної апаратури. При обробці експериментальних даних були використані методи математичної статистики та теорії імовірності, а також відомі програмні комплекси.

Достовірність одержаних результатів підтверджена обґрунтуванням припущень та відповідністю результатів розрахунків експериментальним

даним, відсутністю логічних протиріч і відповідністю фізичній сутності вирішуваних задач.

Використані в дисертації основні теоретичні положення та припущення є коректними і узгоджуються із загальноприйнятими в теорії процесів механічної обробки, верстатів та інструментів. Обґрунтованість наукових результатів забезпечується коректністю поставлених мети та завдань досліджень, точністю використаних засобів вимірювання та підтвердженою адекватністю розроблених математичних моделей.

## **6. Відповідність змісту автореферату і дисертаційної роботи та висвітлення результатів роботи в наукових виданнях**

Автореферат у повній мірі відображає структуру дисертаційної роботи та за своїм змістом відповідає основним її положенням і висновкам. Оформлення автореферату відповідає існуючим вимогам. Висновки, зазначені у дисертаційній роботі та в авторефераті, є ідентичними.

За результатами досліджень опубліковані 18 наукових праць, у тому числі 10 статей у фахових наукових виданнях (з них 1 праця у закордонному індексованому виданні), 8 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій (одна – у закордонному виданні). Одержано патент на корисну модель. Зазначені публікації в достатній мірі висвітлюють результати роботи, що виноситься на захист.

Об'єм публікацій в повній мірі відповідає вимогам до кандидатських дисертацій відповідно до п. 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

## **7. Структура, зміст та оформлення дисертації**

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку науково-технічних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 222 сторінок машинописного тексту, 101 рисунок, 8 таблиць,

список використаної літератури з 158 найменувань на 17 сторінках і 6 додатків на 19 сторінках.

Таким чином, об'єм і структура дисертаційної роботи відповідають вимогам, що визначені п.11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

Стиль тексту та оформлення дисертаційної роботи зауважень не викликають.

**У вступі** обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів дослідження, наведена інформація щодо апробації результатів дисертації та публікацій.

**Перший розділ** присвячено аналізу стану публікацій з обраної тематики й обґрунтуванню актуальності розглянутої задачі.

Автором встановлено, що відомі принципи ідентифікації процесів торцевого фрезерування є ефективними лише у вузькому діапазоні параметрів обробки. Зважаючи на значну кількість факторів, що визначають такі процеси, існують різні погляди на ступінь їх впливу на динамічні характеристики технологічної системи. Зокрема, це стосується виникнення при торцевому фрезеруванні вібраційних процесів внаслідок фрезерування по сліду. На даний час відсутні виразні математичні моделі, що враховують цей фактор.

На підставі теоретичних досліджень і проведеного аналізу сформульовані мета й завдання дослідження.

**Другий розділ** присвячений методикам вивчення об'єкту дослідження. Для процесу торцевого фрезерування автором оцінюється динаміка верстатної системи на основі визначення амплітудно-частотних характеристик вібраційних процесів.

Для виконання експериментальних досліджень автором розроблений вимірювальний комплекс на базі АЦП LCARD E14-440. В якості вимірювальних пристроїв використані датчики віброприскорення та оптичні датчики вібрацій.

За результатами експериментальних досліджень були визначені амплітудно-частотні характеристики процесу торцевого фрезерування за різних режимів обробки та станів інструменту. Ці дані були використані при визначенні параметрів математичної моделі процесу. Зокрема, в роботі наведені частотні діаграми: в залежності від подачі, глибини фрезерування, а також при зміні частоти обертання фрези і зміні кількості її зубів.

Для визначення стану інструмента при попередньому торцевому фрезеруванні вперше розроблено математичну модель системи розпізнання образів та діагностики різального інструменту, що дає можливість екстраполювати наявні експериментальні дані.

**Третій розділ** присвячений аналізу динаміки процесів торцевого фрезерування.

При цьому побудована узагальнена об'єднана математична модель процесу фрезерування із розширеним діапазоном допустимих режимів фрезерування. Особливістю такої моделі є врахування «різання по сліду» на основі опису сукупності траєкторій руху зубів фрези, що дало можливість розраховувати сили різання, які діють на зуб, у кожний наступний момент часу.

В зазначеному аспекті автором розроблена динамічна модель несучої системи фрезерного верстата на основі спрощеного представлення стола та фрезерної бабки у вигляді одномасової пружної системи, а також математична модель визначення сил різання в процесі торцевого фрезерування. Представлено імітаційне моделювання цього процесу із заданням параметрів застосованих при експериментальних дослідженнях, а також проведена перевірка моделі на адекватність.

Також досліджене явище регенерації на основі моделювання при змінній частоті обертання фрези та різній кількості пластин. Визначені умови недопущення роботи в зоні великих коливань у разі руйнації окремих пластин фрези при малозубому фрезеруванні.

**В четвертому розділі** розроблена та реалізована мікроконтролерна система візуального моніторингу стану різальних пластин фрези.

Зокрема, описані: ідентифікації на екрані стану пластини і її руйнування; модуля оптичного датчика для неінвазійного вимірювання коливань. Представлена ідея побудови програмного забезпечення системи контролю з допомогою розробленого програмного комплексу, у рамках якого програма керування реалізується як система формальних автоматів на основі методу графів з використанням графічного середовища Microsoft Visio.

**У розділі 5** проведені практичні дослідження зносостійкості й надійності збірних фрез, зокрема виробничі й лабораторні випробування торцевих фрез із пластинками твердих сплавів. Дослідження виконувались в умовах ПАТ Дружківський машзавод. Отримані статистичні дані про роботу 16 фрез свідчать, що у 92% випадків обробки фрези знімається з верстату при виході з ладу всіх 4х зубів, і така експлуатація фрез призводить до підвищеної витрати інструментальних матеріалів. Тому з погляду теорії надійності при аналізі збірної фрези, у якій відмова одного із зубів не призводить до повної відмови фрези, вона являє собою паралельну систему з пасивним резервом. Відповідно виконано розрахунок надійності торцевих фрез при роботі з довільною кількості ріжучих пластин. На основі отриманої залежності приведених витрат від рівня надійності було визначено раціональний рівень надійності 0,82 – 0,85 і надана рекомендація, що найдоцільніше для фрези із чотирма зубами знімати її з верстату при виході з ладу 2-х зубів.

**У висновках** до роботи автором викладено найбільш важливі отримані наукові і практичні результати.

**В додатках** до роботи містяться акти впровадження результатів досліджень у виробництво і навчальний процес.

## **8. Оцінка змісту дисертації**

В цілому дисертаційна робота містить всі необхідні розділи, які достатньо повно розкривають проведені автором дослідження – від ґрунтового аналізу існуючих теоретичних підходів та технічних рішень до конкретних рекомендацій. Стиль викладення і мова дисертації відповідають вимогам, що ставляться до дисертаційних робіт.



## 9. Зауваження до дисертації та автореферату

1. У дисертаційній роботі розроблена комплексна система оцінки якості процесу торцевого фрезерування. Бажано було б обґрунтувати ієрархію значущих властивостей якостей.

2. Дослідження частотних діаграм, у разі зміни частоти обертання фрези, демонструє наявність складників коливань, які зумовлені динамікою несучої системи верстата. Але в роботі не наведено інформації, як змінюється діаграма для різних розмірів фрезерних верстатів.

3. Для математичної моделі розпізнавання образів у роботі не роз'яснено, як впливає на модель якість результатів експериментальних випробувань.

4. Удосконалена схема моделі фрезерування торцевими фрезами не має достатньо коректного опису.

5. У роботі вперше розроблено математичну модель надійності збірної фрези. Проте при цьому не обґрунтований вибір закону розподілу стійкості.

6. Дисертація містить неточності формулювання деяких положень українською мовою. Наприклад, вираз «при фрезеруванні торцевими фрезами» треба формулювати «для фрезерування» або «під час фрезерування».

7. На жаль, важливі результати автора стосовно конструкцій і технологій, які запропоновані в роботі, не захищені інтелектуальною власністю.

8. У тексті дисертації є певні недоліки пов'язані із термінологічною неусталеністю і стилістикою, зокрема, автор вживає термін «ЧПК» і поряд із цим термін «ЧПУ», деякі формули записані шрифтами, що відрізняються від шрифту основного тексту, тощо.

Проте означені зауваження не знижують цінності дисертації.

## 10. Загальна оцінка роботи

Дисертація на тему «Підвищення ефективності фрезерування на основі дослідження та розробки автоматизованої системи діагностики фрез» є завершеним науковим дослідженням, виконана на високому науково-технічному рівні, відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України щодо кандидатських дисертацій та, насамперед, вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМ України від 24 липня 2013р. №567, має актуальність, наукову новизну та практичну цінність, а її автор **Донченко Євгеній Іванович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

Офіційний опонент

Професор кафедри конструювання  
верстатів, інструментів і машин  
Тернопільського національного  
технічного університету імені Івана Пулюя,  
заслужений працівник освіти України,  
доктор технічних наук, професор

І.В. Луців

Підпис доктора техн. наук, проф. Ігоря Володимировича Луціва засвідчую:

Проректор з наукової роботи  
ТНТУ ім. І. Пулюя  
д.т.н., професор



Марущак П.О.