

**УДК 621.924**

*Ю.В. Петраков, О.В. Лисенко*

**УПРАВЛІННЯ ДИНАМІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ  
ОБРОБЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ТОЧІННІ**

Відомо, що динамічні властивості технологічної оброблювальної системи (ТОС) мають великий вплив на протікання процесу різання, його вихідні характеристики [1]. Цей вплив можна розділити на швидкоплинний (макро і мікро геометрія обробленої поверхні, точність формоутворення у поперечному перетині деталі, сталість процесу різання) і повільний (зношування інструменту, точність формоутворення у повздовжньому напрямку деталі). Таким чином, задача управління динамічними характеристиками ТОС є надзвичайно важливою для подальшого

підвищення ефективності будь-яких процесів обробки матеріалів різанням. Особливе значення має розробка методів управління саме швидкоплинною компонентою, яка найбільше впливає на вихідні характеристики процесу обробки. Складність цієї задачі полягає у тому, що управління динамічними властивостями з метою впливу на швидкоплинну компоненту традиційними системами та методами автоматичного управління досі не є технічно можливим внаслідок високих частот власних коливань ТОС. Найбільше застосовується метод динамічної компенсації (гасіння) коливань за допомогою різних конструктивних рішень, що містять у собі додаткову пружну коливальну систему.

Було запропоновано використовувати позитивний ефект від застосування динамічних компенсаторів коливань з одночасним управлінням точністю формоутворення у поперечному перетині деталі. Ця ідея була реалізована у спеціальній конструкції різця, яка представлена на рис.1 [2].

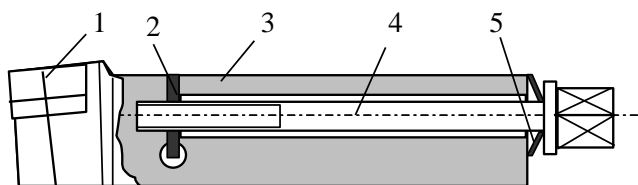


Рисунок 1 – Конструкція різця

Таблиця 1 – Геометричні параметри різальної частини

Кут	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma_1$	$\alpha_1$	$\varphi$	$\varphi_1$	$\varepsilon$	$\lambda$
Величина, град	8	8	8	2	45	30	105	0

Різець складається з різальної твердосплавної непереточувальної пластини 1, державки 3 з поперечним пазом, в якому розміщений гумовий демпфер 2, гвинта 4 для регулювання переднього натягу і тарілчастої пружини 5. Геометричні параметри різальної частини різця представлені у таблиці 1.

Для практичної апробації були проведені дві серії експериментів з метою підтвердження теоретичних розробок. Експерименти проводилися на токарному верстаті 16К20 при обробці спеціально підготовлених деталей з поперечними до напрямку головного руху пазами і деталей з ексцентрично розташованим припуском. Головним завданням першої серії експериментів (обробка деталі з пазами) було дослідження динамічних характеристик ТОС при дії ступеневої функції у вигляді раптової зміни глибини різання, а для другої серії експериментів (обробка деталі з ексцентричним припуском) – дослідження технологічної спадковості в залежності від динамічних характеристик ТОС.

Перед проведенням експериментальних досліджень було виконане тарювання вимірювального комплексу, який складався з універсального динамометру УДМ-600, тензостанції "Топаз" та шлейфого світлопроменевого осцилографу Н-071.2. Тарювання проводилася за схемою (рис. 2), яка дозволила за одне вимірювання визначити жорсткість як верстату, так і запропонованого інструменту. У відповідності до схеми, жорсткість верстата визначалася за тарировочним графіком як  $C_v = P_y/\Delta_2$ , а жорсткість інструменту  $C_i = P_y/(\Delta_1-\Delta_2)$ . Аналогічним чином проводились вимірювання і за іншими координатами.

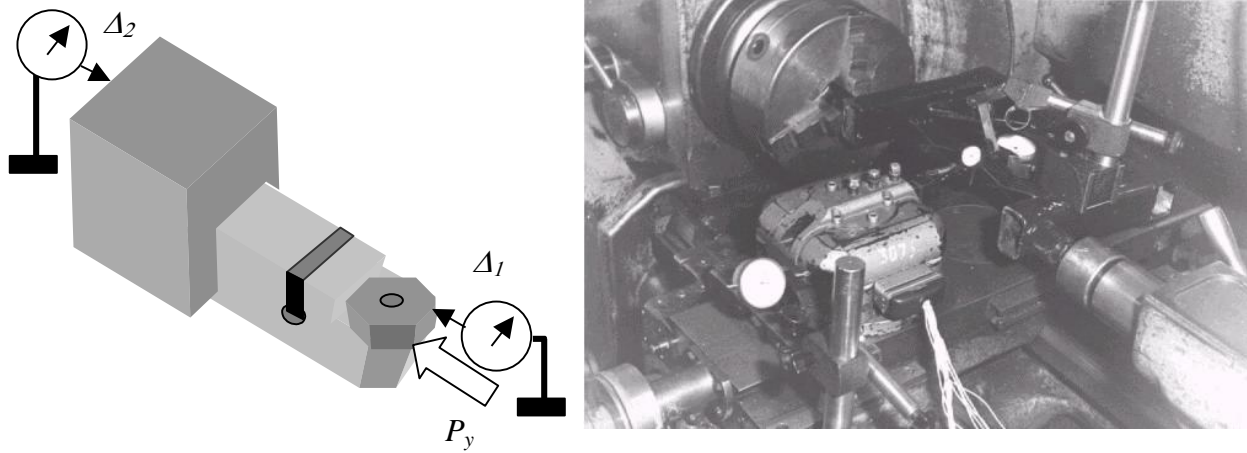


Рисунок 2 – Тарування ТОС у напрямку дії складової  $P_y$  сили різання

Під час проведення експериментів всі складові сили різання записувалися на шлейфовому осцилографі і оброблялися спеціально розробленою в Лабораторії віртуальних засобів навчання НТУУ “КПІ” прикладною програмою. Програма дозволяє розкласти цифровий сигнал у ряд гармонік за залежностями косинус- і синус-перетворень Фур’є, тобто отримати зображення сигналу в функції частоти, а потім відновити сигнал:

$$C_c(f) = 2 \int_0^{+\infty} y(t) \cos(2\pi ft) dt,$$

$$C_s(f) = 2 \int_0^{+\infty} y(t) \sin(2\pi ft) dt,$$

де  $y(t)$  – функція часу,  $f$  – частота.

Інтегральні перетворення у програмі здійснюються дискретно на заданому інтервалі частоти (аналізується 200 перших гармонік) за допомогою двох циклів (рис.3). Такий алгоритм показав добрі результати при обробці багатьох сигналів різної форми. Найбільше відхилення при відновленні сигналів спостерігається на початку і наприкінці заданого діапазону (приблизно 10%).

Графічне зображення перетворень у частотній області дає можливість кількісно оцінити спектр коливань ТОС і зробити висновки щодо її динамічних властивостей.

Перша серія експериментальних досліджень перехідних характеристик ТОС проводилась при точінні спеціально підготовленої заготовки  $\varnothing 70$  мм з двома радіальними пазми шириною 20 мм, матеріал – Сталь 45, при наступних режимах різання: глибина різання 1 мм, повздовжня подача 0,25 мм/об, обробка без СОТС. Для фіксації кутового розташування

```

for j:=0 to nk do begin
for i:=0 to n1 do begin
sis:=sis+ys[i]*sin(2*Pi*j*(xs[i]-s[0])/(xs[n1]-x[0]));
sic:=sic+ys[i]*cos(2*Pi*j*(xs[i]-xs[0])/(xs[n1]-x[0]));
end;
cs[j]:=2*sis/(xs[n1]-x[0]);
cc[j]:=2*sic/(xs[n1]-x[0]);
sis:=0;sic:=0;
end;

```

Рисунок 3 – Процедура визначення косинус- і синус перетворень Фур’є

пазу на осцилограмах на циліндричній поверхні патрона токарного верстата був приклеєний постійний магніт, а на індикаторній стійці, що була встановлена на передній бабці верстату, був закріплений герметизований контактний датчик. Заготовка орієнтувалася відносно магніту і затискала в патроні і задньому центрі верстату.

Запис перехідних процесів проводився при точінні звичайним різцем і запропонованим при різних швидкостях різання (40, 100 і 200 об/хв), причому геометричні параметри обох різців і інші умови обробки були однакові. У запропонованому різці був створений попередній натяг при розрахунковому значенні крутного моменту на гвинті 20 Н/м.

На рис. 4 представлені осцилограми перехідних процесів при точінні на швидкості 200 об/хв: а) – для звичайного різця, б) – для запропонованого.

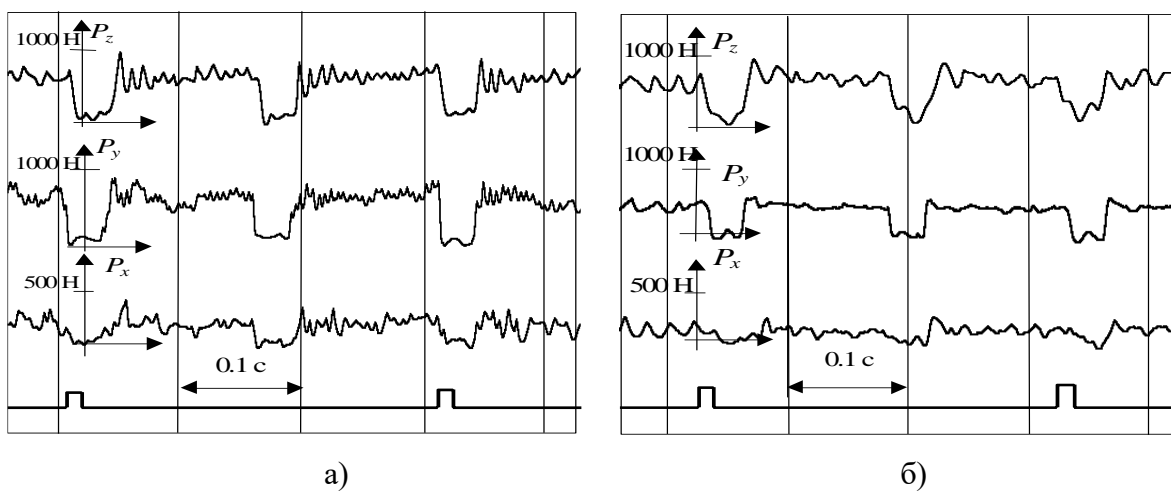


Рисунок 4 – Осцилограми складових сили різання при обробці деталі з пазами

Аналіз осцилограм показує, що характер і частота коливань ТОС змінюється при загальних однакових інтегральних показниках значень складових сили різання. Сигнали на осцилограмах просуваються за часом зліва направо. Початок канавки (відсутність припуску) і її кінець (раптове збільшення припуску) викликають коливання пружної ТОС, але на осцилограмі в основному фіксуються коливання, що викликані раптовим збільшенням припуску. Це пояснюється тим, що при відсутності сили різання у пружній вимірювальній системі тензометричного динамометру немає відносних деформацій, тобто вся вимірювальна система коливається разом з пружною ТОС, тоді як при появі сили різання такі деформації відбуваються. Амплітуда максимального значення складових сили різання різна: найбільше значення для складової  $P_z$ , найменше – для  $P_x$ . Це повністю відповідає результатам теоретичних досліджень розробленої моделі, виконаних за допомогою відповідної прикладної програми [3]. Найбільше демпфування коливань відбувається за складовою  $P_y$  сили різання, що позитивно впливатиме на показники шорсткості обробленої поверхні.

Аналіз спектрів косинус і синус перетворень Фур'є експериментальної залежності складової  $P_z$  сили різання при обробці заготовки з пазами (рис.5) також свідчить про деяке зменшення амплітуд спектру косинус-перетворення при застосуванні запропонованого різця (рис.5, б), особливо у високочастотній частині спектру. Слід зауважити, що саме ця частина відображає динамічні властивості пружної ТОС і суттєво впливає на якість обробки. Низькочастотна частина спектру в основному відображає форму сигналу у вигляді східчастої функції, який відтворюється при обробці заготовки з пазами.

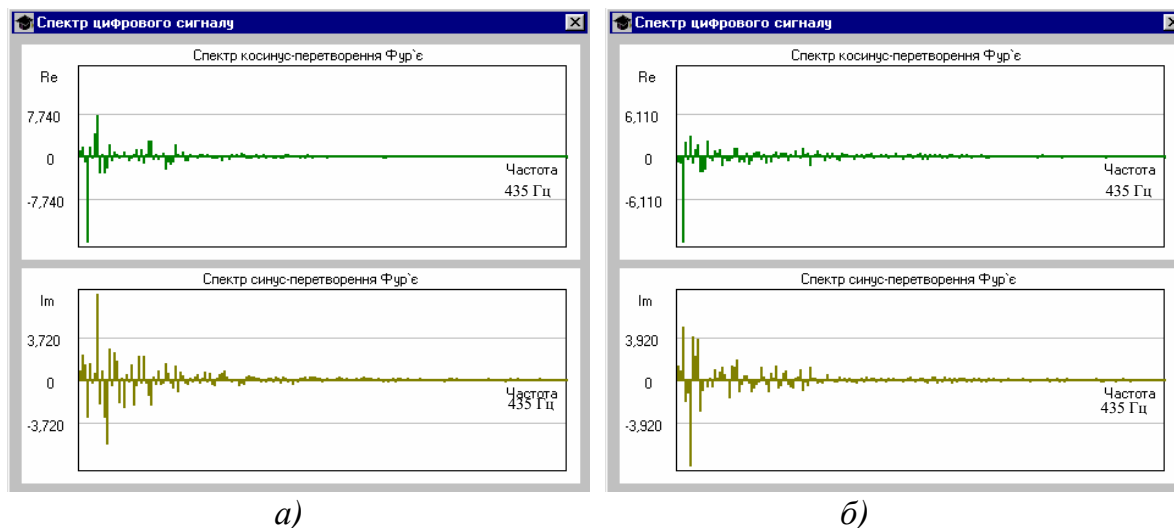


Рисунок 5 – Спектри осцилограм складової  $P_z$  сили різання

Друга серія експериментів проводилася при точінні заготовки з ексцентричним розташуванням припуску, ексцентриситет 1,5 мм. Матеріал заготовки – Сталь 45, зовнішній діаметр 50 мм. Заготовка встановлювалась у патроні і задньому центрі і оброблялась при різних частотах обертання шпинделю (315, 500, 800, 1250 і 1600 об/хв) з повздовжньою подачею 0,15 мм/об. Глибина різання змінювалась у відповідності до ексцентриситету від 3,5 мм до 0,5 мм за оберт деталі. Раніше [4] теоретично було доведено, що ексцентричне розташування припуску викликає збурення ТОС у вигляді, близькому до гармонічного, тому такий сигнал можна використовувати для оцінки частотних характеристик, які суттєво впливають на технологічну спадковість у поперечному перетині деталі. Перед затиском у патроні заготовка орієнтувалась за максимальним значенням припуску відносно магнітного датчика.

Аналіз осцилограм при обробці заготовки з ексцентричним розташуванням припуску (рис.6, рис.7) показує, що при точінні на низькій швидкості (315 об/хв., що обумовлює частоту 5,25 Гц (32,98 рад/с) головної гармоніки збурення у вигляді зміни припуску) характер зміни складових сили різання приблизно однаковий для звичайного (рис. 6, а) і запропонованого (рис. 6, б) різців. Максимальне значення припуску при точінні співпадає з сигналом від магнітного датчика (нижня лінія на осцилограмах), а максимальне значення всіх складових сили різання відповідає зміні припуску.

При підвищенні частоти обертання заготовки, відбуваються суттєві зміни у характері як складових сили різання так і впливу фазового запізнення між припуском та складовими сили різання. Так при точінні на швидкості 1600 об/хв., що відповідає частоті 26,7 Гц (168 рад/с) головної гармоніки збурення, зафіксовані суттєві

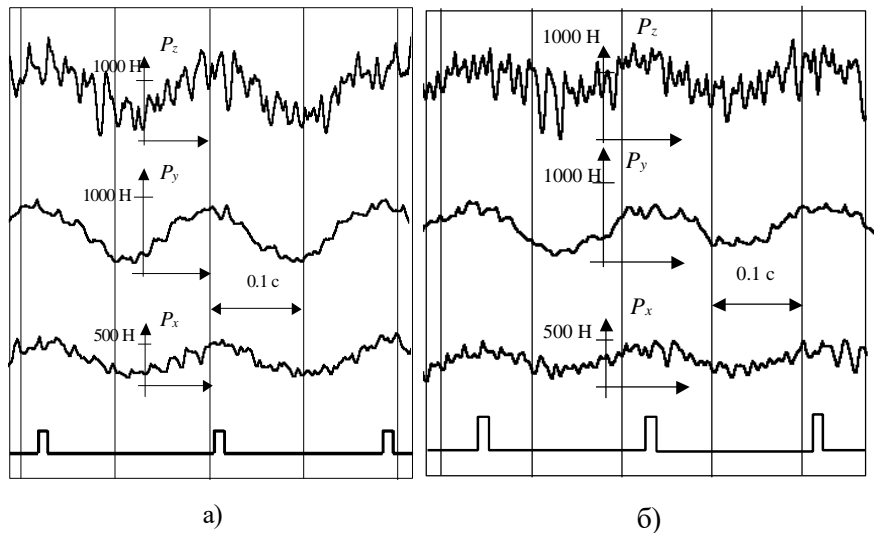


Рисунок 6 – Складові сили різання при точінні заготовки з ексцентричним розташуванням припуску (315 об/хв)

принципові розбіжності у характері зміни складової  $P_z$  сили різання для обробки звичайним (рис. 7, а) і запропонованим (рис. 7, б) різцями. Зміна характеру складової  $P_z$  сили різання обумовлена перш за все зміною частотних характеристик ТОС з запропонованим різцем у напрямку вісі Z. Крім того, спостерігається деяке запізнення між дією збурення у вигляді припуску і реакції системи у вигляді сили різання. Таке запізнення викликане в першу чергу постійною часу стружко-утворення, яку можна оцінити у межах до 0,01 с.

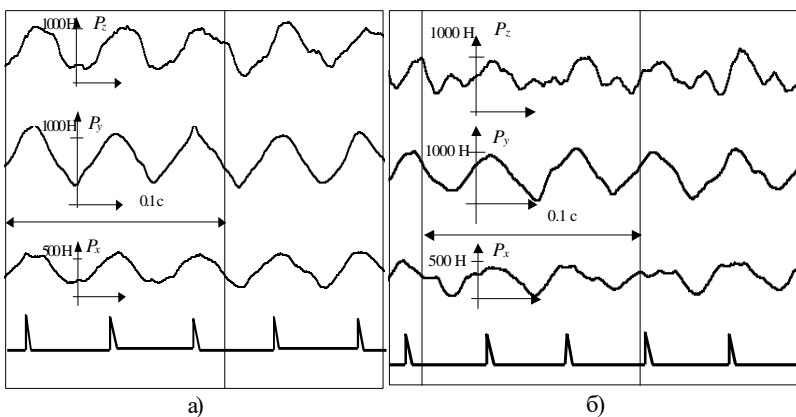


Рисунок 7 – Складові сили різання при точінні заготовки з ексцентричним розташуванням припуску (1600 об/хв)

Зафіксована зміна реакції ТОС при новому різці, у відповідності до теоретичних розрахунків, повинна проявитися у вихідних характеристиках процесу обробки, а саме, у технологічній спадковості за поперечним перетином деталі. Для перевірки і кількісної оцінки такої реакції були зроблені круглограми оброблених при різних швидкостях поверхонь деталі.

Круглограми (рис. 8) робилися на вимірювальному приладі фірми Taylor Hobson і в центрах індикатором з одної установки деталі при обертанні в одну і ту ж сторону всіх оброблених поясків. При вимірюваннях фіксувалося також розташування припуску під точіння що був залишений на одному з необроблених поясків. Таким чином, за результатами вимірювань можна оцінити технологічну спадковість як за амплітудою, так і за фазою.

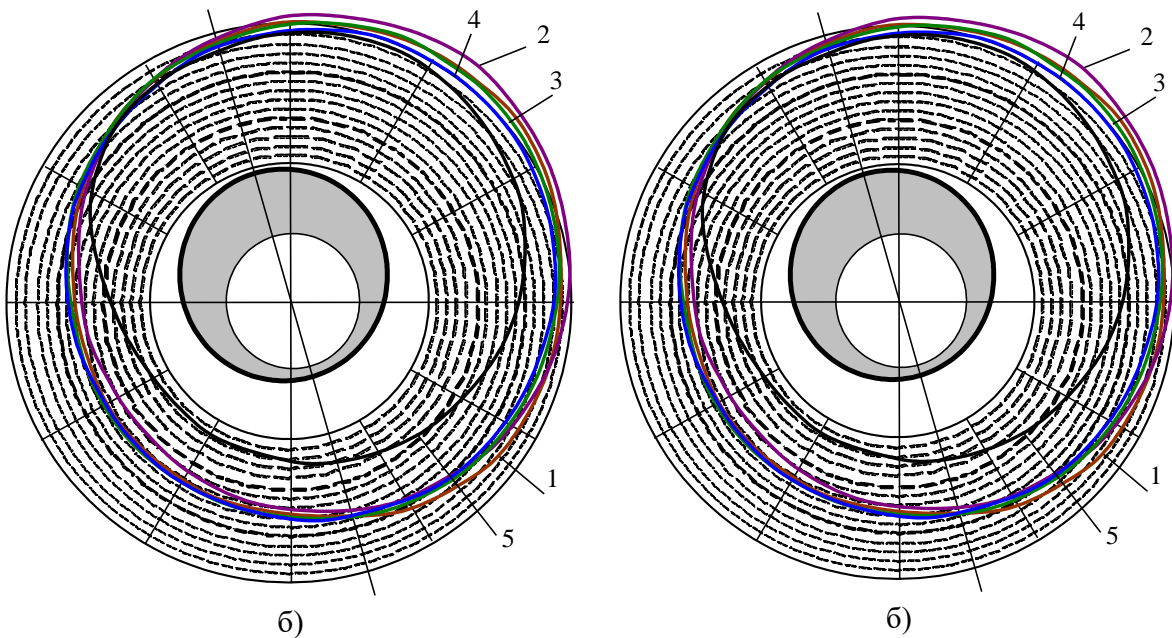


Рисунок 8 – Круглограми деталей, оброблених а) – запропонованим і б) – звичайним різцями: 1 – 315 об/хв, 2 – 500 об/хв, 3 – 800 об/хв, 4 – 1250 об/хв, 5 – 1600 об/хв

У центрі круглограм на рис.8 показане розташування припуску сірим кольором, що суміщене за кутом з круглограмами оброблених поверхонь. Таким чином, круглограми дозволяють визначити амплітуду як різницю між максимальним і мінімальним значенням відповідної круглограми (ціна поділки на рис. 8 – 0,02 мм) поділену на амплітуду коливання припуску (1,5 мм) і фазу як полярний кут між мінімальним значенням припуску і мінімальним значенням відповідної круглограми. Ураховуючи, що обертання деталей при обробці виконувалося проти годинникової стрілки, то кут, виміряний за годинниковою стрілкою буде від'ємний, тобто технологічна спадковість запізнюється по відношенню до припуску. За результатами

виконаних вимірювань побудовані амплітудно-фазові частотні характеристики ТОС (рис. 9.).

На рис. 9 точками показані експериментальні значення, що відповідають наступним частотам: 1 – 33 рад/с, 2 – 52 рад/с, 3 – 84 рад/с, 4 – 131 рад/с, 5 – 168 рад/с. Лінія б АФЧХ вихідної ТОС, лінія а – АФЧХ ТОС з запропонованим інструментом, зони зміни фази показані сірим кольором.

Аналіз АФЧХ дозволяє констатувати наступні переваги обробки з використанням запропонованого інструменту:

– амплітуда, що характеризує технологічну спадковість, зменшилась у порівнянні з вихідною ТОС (для однієї і тієї ж частоти – точка 5: амплітуда при застосуванні запропонованого різця 0,128, а для вихідної ТОС 0,181);

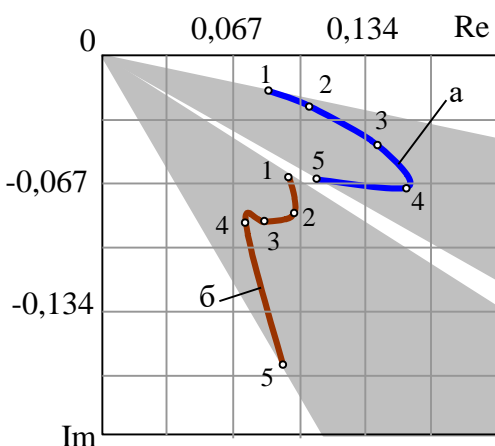


Рисунок 9 – Експериментальні АФЧХ

– фазовий кут зсуву значно менше як за діапазоном зміни ( $15^\circ$  і  $30^\circ$ ), так і за абсолютними значеннями при точінні запропонованим інструментом;

– як свідчать результати вимірювань на приладі Taylor Hobson, відхилення від некруглості зменшується до 2 разів.

Таким чином, запропонований інструмент дозволяє управляти динамічними параметрами ТОС, підвищувати точність обробки за рахунок зменшення технологічної спадковості. Особливо перспективне застосування отриманих результатів при обробці деталей з задалегідь відомим нерівномірним розташуванням припуску, наприклад, поршнів двигунів внутрішнього згорання, які мають некруглий поперечний переріз, а виготовляються з круглої заготовки. В такому випадку важливе значення має зменшення фазового зсуву, що дозволить значно підвищити точність розташування некруглого поперечного перерізу поршня по відношенню до вісі поршневих пальців.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Оценка качества металлорежущих станков по выходным параметрам точности // Станки и инструмент, – 1980. – № 6. – С. 5-7.

2. Пат. на винахід 25283 А Україна, МПК В23В 27/00. Токарний різець / В.М. Пестунов, О.В. Лисенко. - заявник і патентовласник Кіровоград. ін-т с.-г. машинобуд. - № 97073882 ; заявл. 22.07.97 ; опубл. 25.12.98 ; Бюл. № 6. - 4 с. : іл.

3. Петраков, Ю. В. Моделювання динамічних характеристик процесу токарного точіння / Ю. В. Петраков, О. В. Лисенко // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. - Кіровоград: КДТУ, 2002. - Вип. 11. - С. 257-263.

4. Петраков, Ю. В. Моделювання частотних характеристик технологічної оброблювальної системи токарного верстата / Ю. В. Петраков, О. В. Лисенко // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Машиностроение. - К. : НТУУ "КПИ", 2002. - № 43. - С. 79-83.