

ΜΙΚΡΟΦΟΝ

ЗМІСТ

С.	
3	ВСТУП.....
5	1 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....
5	1.1 Експериментальна установка.....
7	1.2 Приймач акустичного випромінювання.....
11	1.3 Засоби вимірювання, характеристики матеріалів інструментів і приладів при проведенні експериментів.....
12	2 МЕТОДИКА ПРИЙОМУ, ПЕРЕТВОРЕННЯ, РЕЄСТРАЦІЇ ТА ОБРОБКИ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....
12	1.1 Обробка сигналу.....
17	1.2 Методика визначення динамічної стійкості технологічної системи.....
21	ВИСНОВКИ.....
22	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

ВСТУП

Актуальність теми. Орієнтація сучасного багатоміністерського машинобудування на ринкову економіку вимагає зниження матеріаломісткості, підвищення ефективності, точності, якості і екологічної чистоти механічної обробки, і, зокрема, обробки різанням, яка все ще є превалюючим процесом формоутворення. Ці вимоги диктують необхідність прогнозування показників робочих процесів, серед яких необхідно виділити динамічну стійкість, причому точність прогнозування результату і час його отримання багато в чому визначають успіх їх практичної реалізації і конкурентоспроможність продукції. У цих умовах експериментальні моделі, досвід технолога і робочого виявляються малоефективними, і особливо при розробці технологічних процесів обробки нових конструкційних матеріалів, з застосуванням нових інструментальних матеріалів, конструкцій інструментів або обладнання. На думку багатьох дослідників, в даний час найкращих результатів у вирішенні зазначеної проблеми можна досягти за допомогою використання теоретичних методів дослідження і прогнозуючих моделей в тісному поєднанні з експериментальними дослідженнями.

Експериментальні дослідження в області ідентифікації автоколивань в процесі кінцевого фрезерування грають дуже важливу роль для прогнозування динамічно стійких областей режимів різання. У зв'язку з цим розробка методологій, що дозволяють ідентифікувати динамічну стійкість безпосередньо при кінцевому фрезеруванні є актуальним завданням.

Метою роботи є розробка методології ідентифікації автоколивань при кінцевому фрезеруванні.

Об'єкт дослідження: процес чорнового фрезерування кінцевими фрезами.

Предмет дослідження: процес автоколивань в умовах чорнкової обробки фрезами різних конструкцій.

Задачі дослідження:

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд задач:

1. Запропонувати метод аналізу динамічної стійкості технологічної системи.

2. Розробити критерій для експериментальної ідентифікації автоколивань при кінцевому фрезеруванні.

Методи дослідження. Експериментальне дослідження динамічної стійкості процесу фрезерування до автоколивань виконано з використанням методу реєстрації сигналу акустичного випромінювання за допомогою мікрофона фірми SHURE моделі C606, подальшої обробки сигналу за допомогою методу спектрального аналізу Music (Multiple Signal Classification) і порівняння спектральної щільності потужності сигналу в діапазонах частот.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше для перевірки адекватності математичної моделі прогнозування областей режимів різання динамічно стійкого КФ, порівнювати теоретичні діаграми динамічної стійкості з експериментальними, отриманими шляхом аналізу сигналу АВ процесу КФ.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблено критерій для експериментальної ідентифікації автоколивань при кінцевому фрезеруванні, який може бути використаний при підборі режимів різання на верстаті.

1 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Експериментальна установка

Для визначення наявності автоколивань технологічної системи (ТС) при кінцевій фрезеруванні і вивчення впливу різних чинників (режимів різання, геометрії інструменту, конструктивних особливостей інструменту і ін.) На акустичне випромінювання (АВ), була розроблена експериментальна установка на базі вертикально-фрезерного верстата моделі 6Р13Ф3 з системою ЧПК 2С42 (рис. 1.1, рис. 1.2). Реєстрація АВ здійснювалася допомогою приймача (мікрофона), розміщеного в потрібну точку простору поруч із зоною різання.

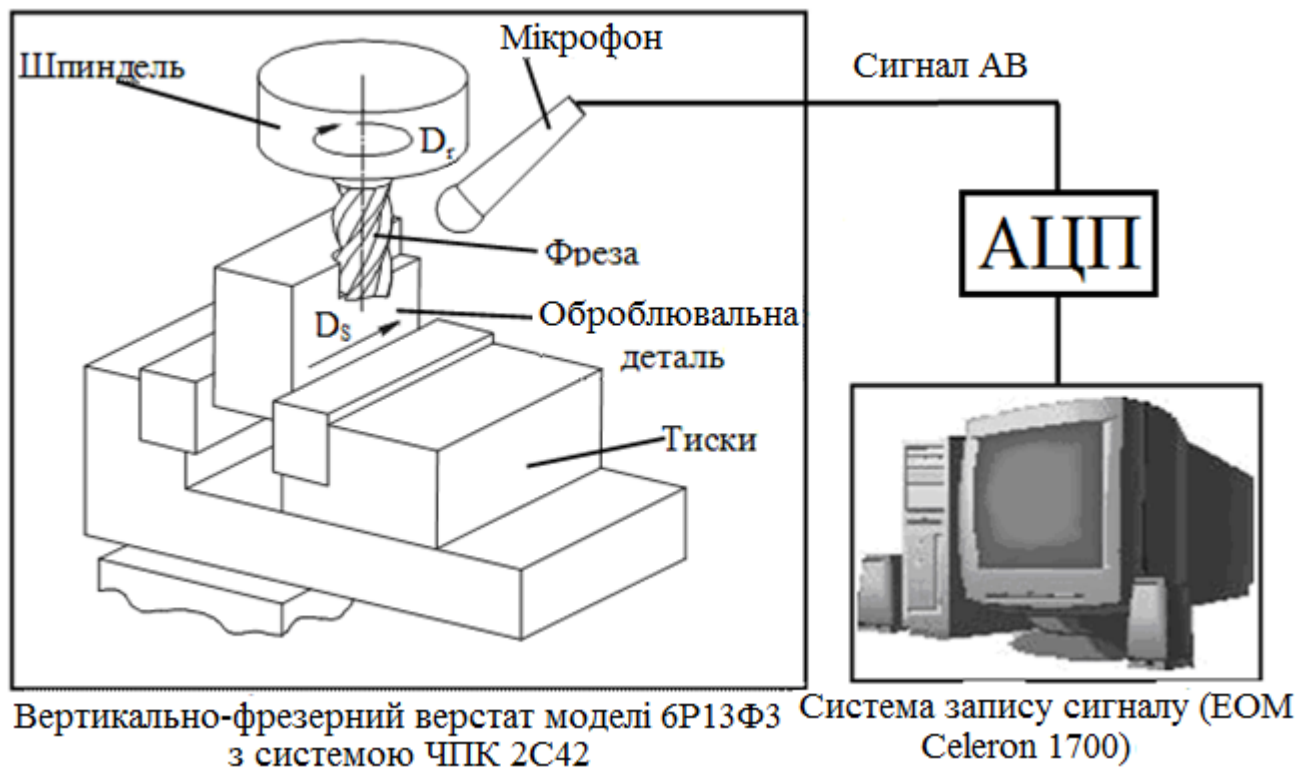


Рисунок 1.1 – Схема експериментальної установки

Приймач приєднувався через перехідник до вбудованої звукової карти материнської плати моделі GA-8GEM667. Для запису використовується комп'ютер на базі процесора Celeron 1700. Сигнал, що надходить з мікрофону посилювався за допомогою підсилювача вбудованого в звукову карту і перетворювався з аналогового в цифровий вигляд за допомогою аналогово-цифрового перетворювача, вбудованого в ту ж карту.



Рисунок 1.2 – Експериментальна установка

Закріплення заготовки здійснювалося в машинних лещатах, які в свою чергу кріпилися на столі верстата болтами.

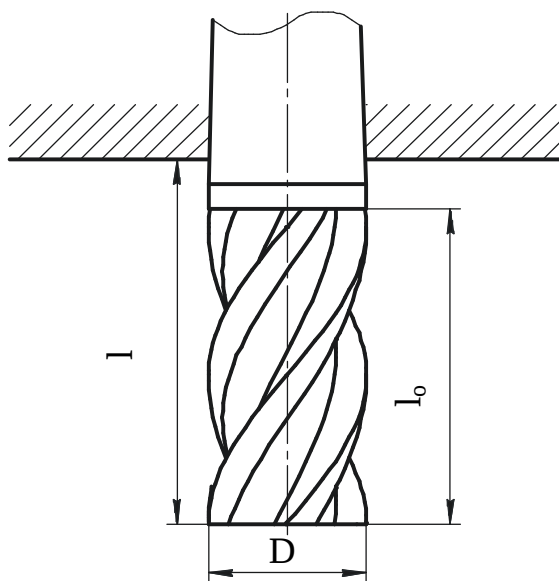


Рисунок 1.3 – Схема встановлення інструменту

Для проведення експерименту використовувався набір фрез зі змінними неперекачувальними пластинами MC-137, і набір суцільних швидкорізальних фрез зі сталі Р6М5. Всі фрези мали конус Морзе №3 і закріплювалися в спеціальну стандартну оправку, яка в свою чергу через конус 7:24 №50 кріпилася в шпиндель верстата. Схема встановлення інструменту представлена на рисунку 1.3.

1.2 Приймач акустичного випромінювання

В якості приймача АВ можна використовувати мікрофон. Мікрофон, встановлений в дану точку простору вловлює звукові хвилі, що поширюються прямолінійно в усіх напрямках і перетворює їх в механічні коливання своєї мембрани і, далі, в коливання електрорушійної сили в котушці. В результаті амплітуда електрорушійної сили пропорційна амплітуді коливань щільності повітря.

Мікрофон повинен мати велику чутливість в діапазоні частот від 20 Гц до 20 кГц, малим рівнем власних шумів, спрямованістю для зменшення амплітуди сигналу АВ неінформативних джерел. Оснащення мікрофона попереднім підсилювачем дозволяє істотно збільшити його чутливість і зменшити рівень шумів при передачі прийнятого електричного сигналу до перетворювача.

На сьогоднішній день існує досить велика кількість мікрофонів, які за способом перетворення звукової енергії в електричну можна розділити на 2 типи – конденсаторні та динамічні. А кожен тип ще на два підтипу. Конденсаторні діляться на конденсаторні електростатичні і електретні, а динамічні - на котушкові і стрічкові. Крім того. Є ще й вугільні мікрофони. У таблиці наведено типи мікрофонів з їх перевагами і недоліками при вирішенні конкретної задачі - реєстрації сигналу АВ для оцінки динамічної стійкості процесу КФ.

Для завдання реєстрації акустичного випромінювання у виробничих умовах, а саме на верстаті, мікрофон повинен відповідати наступним вимогам: мати малі розміри; мати достатній номінальний діапазон частот як мінімум від 100-15000 Гц; мати рівномірну амплітудно-частотну характеристику чутливості; володіти низьким рівнем нелінійних спотворень. Як видно з таблиці 1.2 заданим вимогам відповідає група конденсаторних електретних мікрофонів.

І тому в даній роботі в якості приймача АВ приймаємо конденсаторний електретний мікрофон фірми SHURE моделі C606, завдяки його перевагам для вирішення завдання реєстрації сигналу АВ із зони різання, з наступними технічними характеристиками представленими в таблиці 1.1.

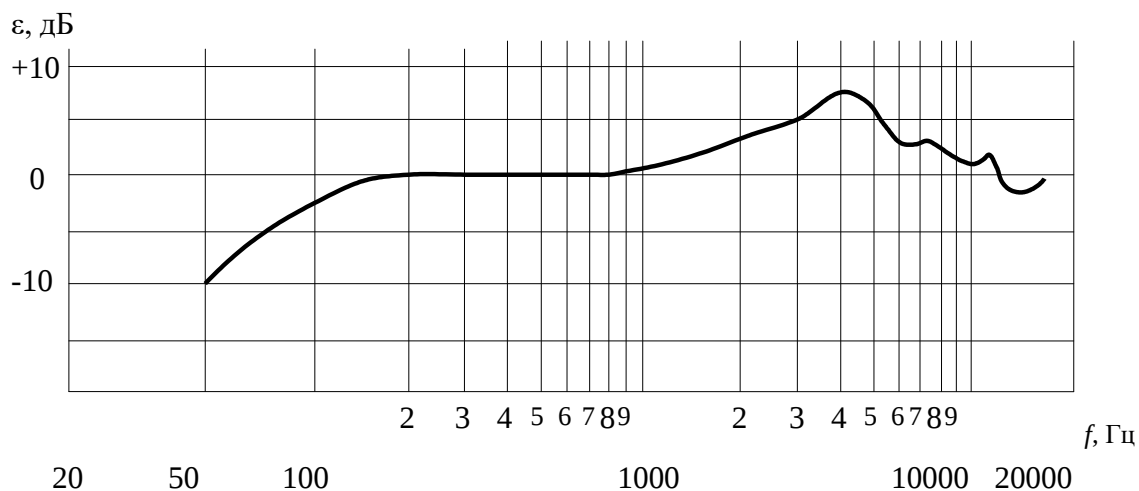


Рисунок 1.4 – Амплитудно-частотна характеристика мікрофона
фірми SHURE моделі C606

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики мікрофона

№ п/п	Параметр і одиниці вимірювання	Величина параметра
1	Діапазон частот, Гц	50-15000
2	Повний опір, Ом	600
3	Чутливість на частоті (1000 Гц), дБВ/Па	-52
4	З'єднувач	XLR (4,6 метра)
5	Габарити, мм	Ø50x150

Амплітудно-частотна характеристика представлена на малюнку 1.4. Діаграма спрямованості мікрофона для частот 500 Гц і 6400 Гц представлена на малюнку 1.5.

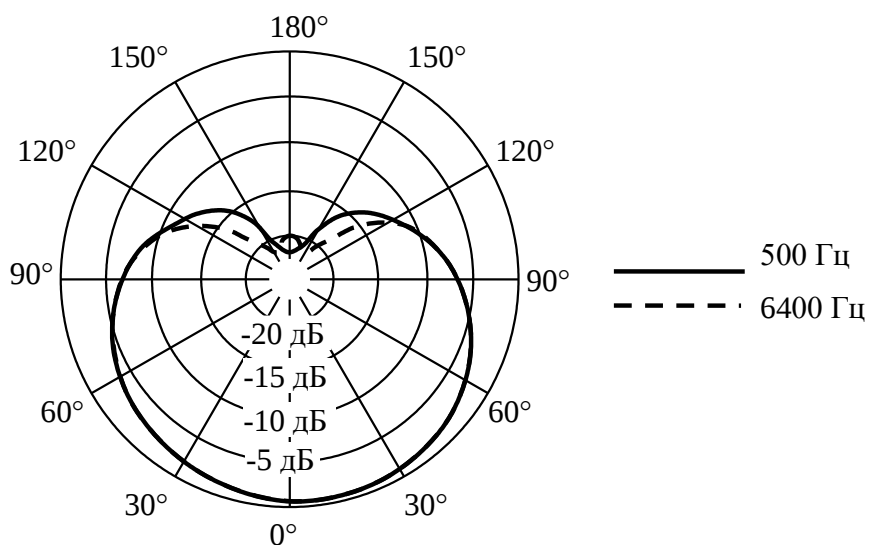


Рисунок 1.5 – Діаграма спрямованості мікрофона фірми SHURE моделі C606

Таблиця 1.2 – Типи мікрофонів

№ п/п	Тип мікрофона	Позначення	Принцип дії	Типовий представник	Переваги	Недоліки
1	Конденсаторний електростатичний	МК	Зміна ємності капсуля при коливанні мембрани під дією змінного звукового тиску, в результаті виникає струм розряду	МК-59, МК-60	1) дуже чутливі до високих частот і мають гладку АЧХ	1) дуже чутливі до перевантажень
2	Конденсаторний електричний	МКЭ	Як і конденсаторного електростатичного, тільки один з електродів є електретом, що створює електростатичне поле між мембраною і нерухомим електродом, еквівалентна напруга поляризації	МКЭ-2, МКЭ-2А, МКЭ-3, МКЭ-4М, МКЭ-5	1) малі розміри 2) достатній номінальний діапазон частот (50-15000 Гц) 3) вбудований підсилювач 4) рівномірною АЧХ чутливості 5) низький рівень нелінійних спотворень 6) гарні імпульсні характеристики 7) не схильні до дії електричного поля	
3	Котушковий	МД	В якості приймача звуку служить діафрагма з центральною жорсткою колоподібною частиною	МД-78, МД-80, МД-81,	1) високий модуль електричного опору 2) мало схильні до спотворень при знятті сигналу з сильним звуковим тиском 3) мало схильні до порушення від	1) великі розміри 2) працює при низькій вологості 3) нерівномірною АЧХ чутливості 4) недостатній номінальний діапазон частот (80-10000 Гц)

Продовження таблиці 1.2

			і гофрованим підвісом	МД-21, МД-41	зворотнього зв'язку	5) погано працює при запису коротких сигналів
4	Стрічковий	МЛ	В якості приймача звуку служить гофрована стрічка з алюмінієвої фольги товщиною 1,5-2 мкм, розташованої в зазорі між полюсними наконечниками магнітного ланцюга. Під дією звукового тиску стрічка коливається, і в ній індукується електрорушійна сила	МЛ-20, МЛ-17, МЛ-51, МЛ-11, МЛ-15	1) відсутність власного резонансу стрічки (1,5-0,5 Гц) 2) можливість індивідуального механічного налаштування частот смуги сприйняття з пологими спадами по краях, крутизною, що не має аналогів 3) Специфічна динаміка АЧХ	1) великі розміри 2) необхідний зовнішній підсилювач 3) нерівномірна АЧХ чутливості 4) недостатній номінальний діапазон частот (80-10000Гц) 5) слабкий сигнал 6) крайня складність в налаштуванні 7) стаціонарність
5	Вугільний		Між двома контактами насипаний вугільний порошок (непресований) і при зміні звукового тиску відбувається зміна опору яке перетворюється в електрорушійну силу	МК-16у, МК-59, МК-60	1) висока чутливість	1) великі розміри 2) недостатній номінальний діапазон частот (100-10000Гц) 3) нерівномірна АЧХ чутливості 4) невисока точність передачі звуку 5) великий рівень шуму

1.3 Засоби вимірювання, характеристики матеріалів інструментів і приладів при проведенні експериментів

Для контролю розмірів заготовки використовувалися штангенциркулі ШЦІ-125-0.1, ШЦІІ-250-0.05 ГОСТ 166-80.

При проведенні експерименту в якості оброблюваного матеріалу використовувалися заготовки зі сталі 20 ГОСТ 1050-88 (твердість HB 1600 МПа, межа міцності 420 МПа).

При проведенні дослідів використовувалася кінцева фреза 2229-0603 ГОСТ 28709-90 зі змінними непереточувальними пластинами 2008-6342, 2008-6344 ТУ48-4206-286-86 з матеріалу MC-137, діаметр фрези 40 мм, довжина ріжучої частини 50 мм, кількість зубів 4 шт, кут гвинтовий лінії зуба 20° , передній кут 0° , задній кут 5° .

2 МЕТОДИКА ПРИЙОМУ, ПЕРЕТВОРЕННЯ, РЕЄСТРАЦІЇ ТА ОБРОБКИ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

2.1 Обробка сигналу

Для того, щоб обробку сигналу здійснювати за допомогою ЕОМ, в якості перетворювача запропоновано використовувати АЦП, що дозволяє виконати оцифровку електричного сигналу АІ. Як відомо, дана процедура полягає у визначенні цифрового коду величини електрорушійної сили в котушці на виході мікрофона. Для практичних цілей вона здійснюється через малі проміжки часу, звані періодом дискретизації T . Часто в розрахунках використовують величину, зворотну періоду - частоту дискретизації f_0 . Прийнятий мікрофоном сигнал (рис. 2.1) посилюється і оцифровується вбудованою звуковою картою материнської плати моделі GA-8GEM667 і записується в пам'ять ЕОМ на базі процесора Celeron 1700.

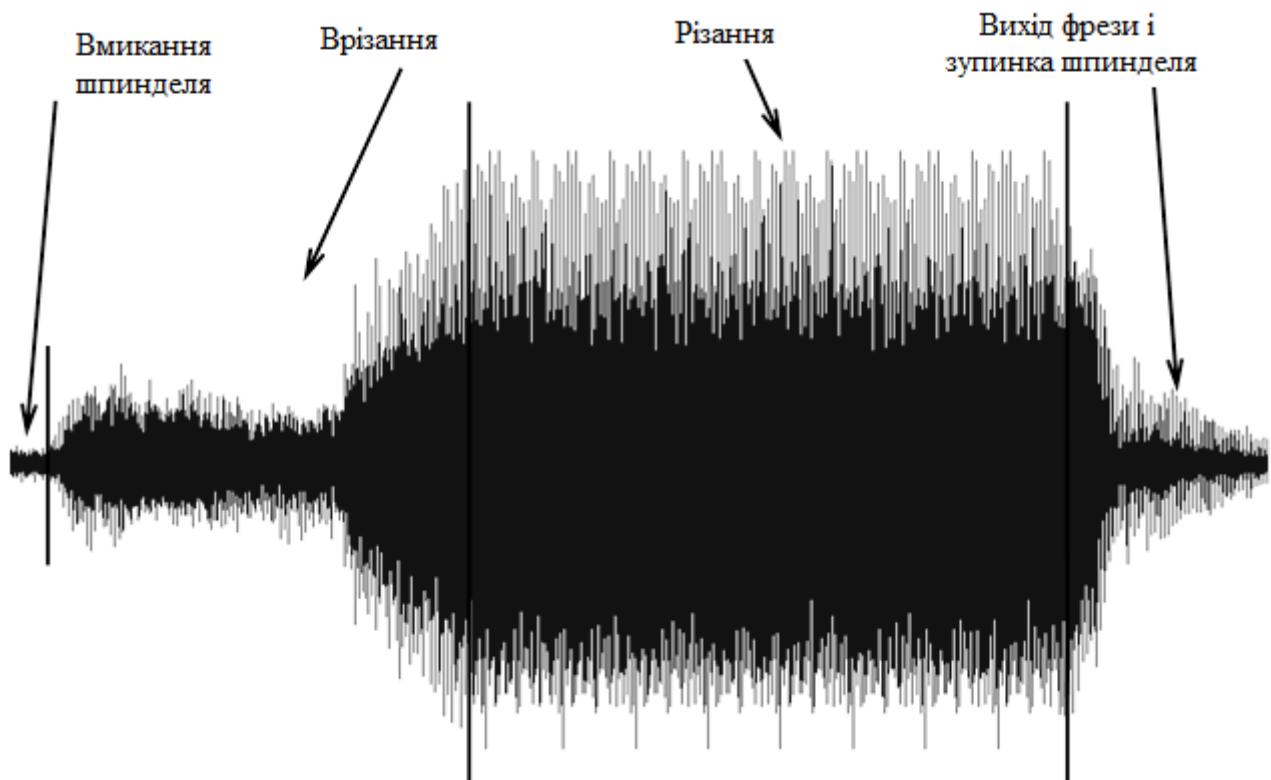


Рисунок 2.1 – Сигнал АВ процесу кінцевого фрезерування

Максимально можливе для даного обладнання частота дискретизації – 44100 Гц. Запис сигналу здійснюється за допомогою спеціальної програми для запису та обробки звуку Sound Forge 7.0.

Отриманий сигнал включає в себе ряд технологічних етапів (рис. 2.1):

- вмикання шпинделя;
- врізання фрези в оброблювальну заготовку глибина різання при цьому змінюється від 0 до максимальної;
- фрезерування заготовки з заданою постійною глибиною;
- вихід фрези із заготовки глибина різання при цьому змінюється від максимальної до 0;
- зупинка шпинделя.

Тривалість запису АВ фрезерування з постійною заданою глибиною різання приймалася не менше ніж $10 \cdot N$ де N – розмір вікна. Розмір вікна відповідно до рекомендацій повинен бути більше або дорівнювати трьом періодам мінімальної передбачуваної частоти сигналу $N = 3 \cdot T$. При фрезеруванні фрезою з прямими зубами мінімальна частота визначається з розрахунку частоти удару зубів фрези по заготівці $\nu = \frac{n}{60}$.

Для подальшої обробки сигналу в середовищі Sound Forge 7.0 виділялася частина записаного сигналу, яка відповідала процесу фрезерування з постійною глибиною.

Скориставшись дискретним перетворенням Фур'є можна побудувати спектр записаного сигналу.

$$\begin{aligned} X_R(f_i) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot \cos(2\pi f_i nT) \\ X_I(f_i) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot \sin(2\pi f_i nT) \end{aligned} \quad (2.1)$$

де N – довжина записуваного сигналу;

$X_R(f_i)$, $X_I(f_i)$ – відповідно дійсна і уявна частина амплітуди гармоніки частотою f_i .

$$A(f_i) = \sqrt{X_R(f_i)^2 + X_I(f_i)^2} \quad (2.2)$$

Як відомо дискретне перетворення Фур'є є занадто повільним, тому воно було замінено швидким перетворенням Фур'є з розрідженням по частоті. Для досягнення максимальної швидкості обчислень слід приймати розмір вікна рівний $N = 2^k$ [35] де k – ціле число (1, 2, 3, 4 ...). В нашому випадку k – це число, округлене до цілого меншого і розраховується за формулою $k = \log_2(N) + 1$ де N – розмір вікна, розрахований за трьома періодами мінімальної передбачуваної частоти сигналу. У роботі використана методика розрахунку швидкого перетворення Фур'є.

Для статистичної порівнянності результатів при різних частотах обертання шпинделя тривалість запису сигналу АВ приймалася рівною $10 \cdot N$, а довжина одного вікна рівною $N = 3 \cdot T$. В таблиці 2.1 наведені значення тривалість сигналу АВ при частоті дискретизації 44100 Гц, для частот обертання 250 -2000 об/хв верстата 6Р13ФЗ.

Таблиця 2.1 – Тривалість сигналу АВ

Частоти обертання шпинделя, n об/хв	2000	1600, 1250, 1000	800, 630, 500	400, 315, 250
Тривалість сигналу АВ, N кількість відкликів	10240	40960	81920	163840

Точне значення тривалості сигналу АВ отримували с використанням програмного середовища MATLAB 6.5.

На рисунку 2.2 представлений спектр сигналу АВ процесу кінцевого фрезерування отриманий методом дискретного перетворення Фур'є. Через наявність безлічі шумів присутніх в сигналі з даного спектру важко виявити переважаючу частоту сигналу і її величину. Зменшення точності побудови спектра з метою зменшення розкиду по амплітуді, може привести до втрати інформації в спектрі про сигнал.

Для подальшого аналізу сигналу скористаємося стандартним методом спектрального аналізу методом Music (Multiple Signal Classification) він

призначений для визначення частот і рівнів (амплітуд або потужностей) гармонійних складових. В основі методу лежить аналіз власних чисел і власних векторів кореляційної матриці сигналу. Спектр комплексної експоненти, розрахований аналітично, являє собою дельта-функцію, розташовану на відповідній частоті. Спектр розраховується наступним чином

$$A(f) = \frac{1}{\sum_{k=M+1}^N \left| \sum_{n=0}^{N-1} V_k(n) \cdot e^{-i \cdot f \cdot n \cdot T} \right|^2}, \quad (2.3)$$

де N – розмір кореляційної матриці (довжина одного вікна записаного сигналу);
 M – число комплексних експонент;

$V_k(n)$ – n -й елемент k -го власного вектору кореляційної матриці.

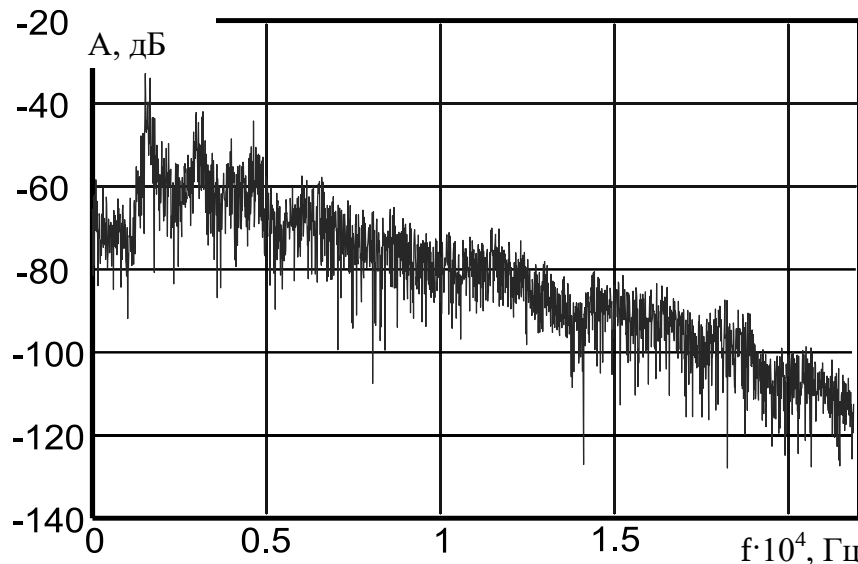


Рисунок 2.2 – Спектр сигналу АВ отриманий методом швидкого перетворення Фур'є

Кореляційна матриця має вигляд

$$R_x = [R_x(k, n)] = \begin{bmatrix} \overline{x(0)x(0)} & \overline{x(0)x(1)} & \cdots & \overline{x(0)x(N-1)} \\ \overline{x(1)x(0)} & \overline{x(1)x(1)} & \cdots & \overline{x(1)x(N-1)} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ \overline{x(N-1)x(0)} & \overline{x(N-1)x(1)} & \cdots & \overline{x(N-1)x(N-1)} \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

де $x(t_1)x(t_2)$ – двовимірна щільність ймовірності поведінки випадкового процесу (рис. 2.3).

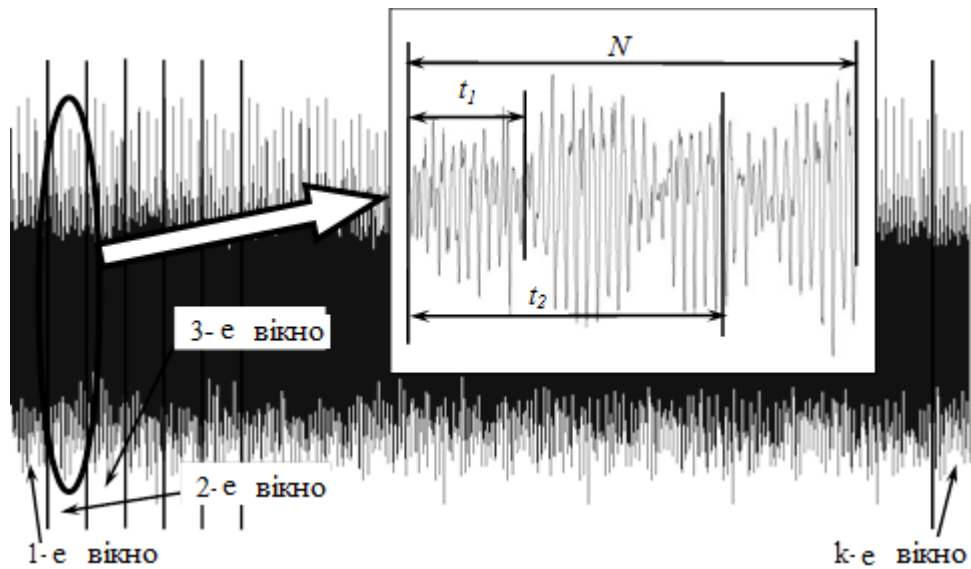


Рисунок 2.3 – Обробка сигналу

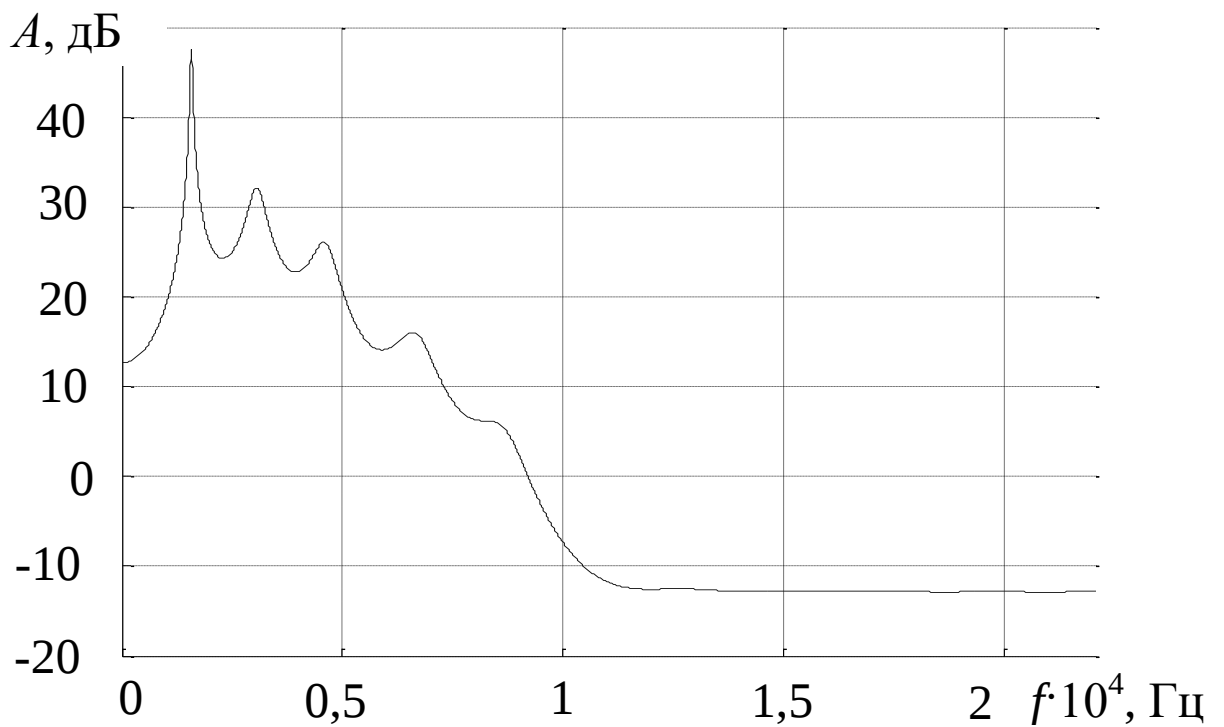


Рисунок 2.4 – Спектр сигналу АВ отриманий методом MUSIC

На рисунку 2.4 представлений спектр того ж сигналу АВ отриманий методом Music. Даний спектр наочно показує переважаючі амплітуди частот АВ, що дає можливість легко проводити частотний аналіз отриманого сигналу АВ.

2.2 Методика визначення динамічної стійкості технологічної системи

Розглянемо спектри декількох сигналів АВ, отримані методом MUSIC (рис. 2.5).

При вимкненому шпинделі спектр не має явних сплесків лише на частотах близько 100 Гц, 2.5, 4, 7, 9 кГц, є невеликі піднесення, що пов'язано з шумами шафи ЧПК верстата і загального фону АВ цеху (рис. 2.5а). При включенні обертання шпинделя відбувається зростання інтенсивності АВ на даних частотах (рис. 2.5б). При фрезерування інтенсивність АВ істотно зростає на низьких частотах порядку 20-130 Гц (рис. 2.5в), або на частотах порядку 1.5-5 кГц (рис. 2.5г). У першому випадку зростання пов'язане з істотним рівнем вимушених коливань в результаті удару зубів фрези по заготівці частота, яких лежить в зазначеному діапазоні, на малюнку 2.6а представлена фотографія поверхні, спектр сигналу АВ якої відповідає малюнку рис. 2.5в. У другому ж випадку істотне зростання АВ на зазначених частотах з вимушеними коливаннями ніяк незв'язані.

Оскільки згідно визначення амплітуда і частота автоколивань не залежить від зовнішньої збудливою сили можна припустити, що в ТС з'явилися автоколивання. На підтвердження даного припущення і говорить той факт, що при цьому різко зросли вібрації в ТС, і з'явився характерний високо частотний писк. На рис. 2.6б представлена фотографія поверхні, спектр сигналу АВ якої відповідає малюнку рис. 2.5г. Поверхня отримана шляхом миттєвої зупинки процесу різання. На поверхні добре видно западини і виступи отримані в результаті коливання ТС. Частоту цих коливань легко визначити підрахувавши кількість виступів на поверхні, помноживши їх коефіцієнт відображає відношення довжини кола до довжини дуги і помноживши на частоту обертання шпинделя. За даною методикою було визначено, що частота коливань ТС становила 1723 Гц, що лежить в зазначеному діапазоні. Оскільки частота вимушених коливань становила близько 21 Гц, то це підтверджує наше припущення про наявність автоколивань системи. Крім того за допомогою

БИМ-2 була визначена амплітуда автоколивань, яка склала 0.13 мм. Отримана амплітуда значно перевищує рекомендовані значення при заданій частоті (рис. 2.6), що говорить про втрату динамічної стійкості ТС в заданих умовах.

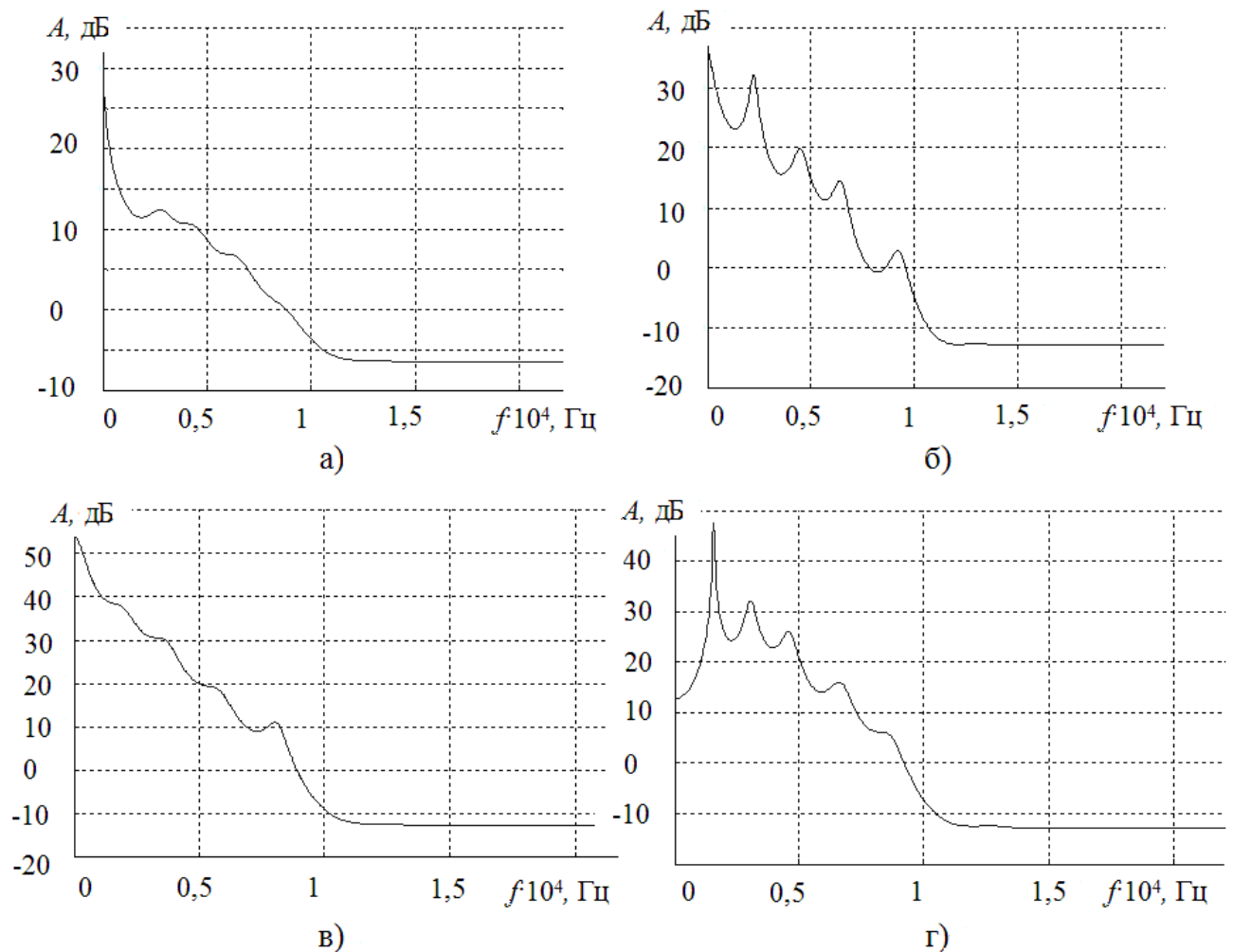
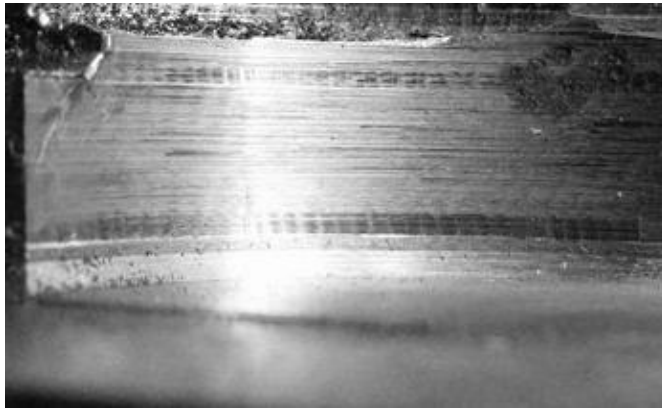
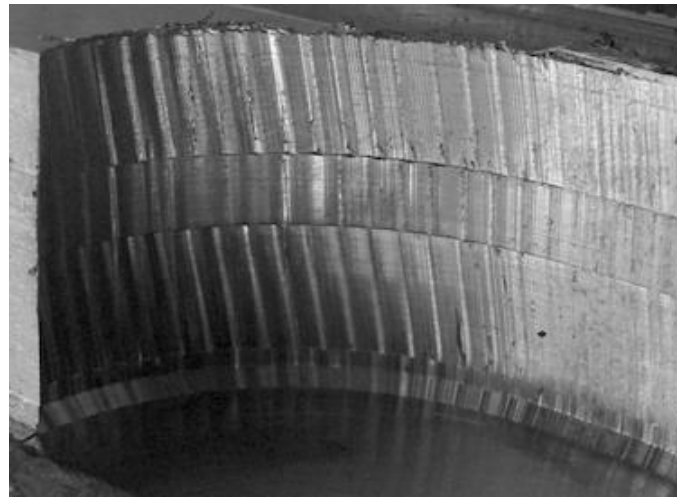


Рисунок 2.5 – Спектри сигналів АВ: (а) – вимкнений шпиндель; (б) – шпиндель, що працює $n=1250$ об/хв; (в) – різання $n=1250$ об/хв, $t=15$ мм, $b=30$ мм; (г) – різання $n=2000$ об/хв, $t=15$ мм, $b=40$ мм

Таким чином, оцінювати динамічну стійкість процесу кінцевого фрезерування, пропонується порівнянням величини рівня АВ в діапазоні частот вимушених коливань 20-130 Гц і величини рівня АВ в діапазоні частот автоколивань 1.5-5 кГц. У разі переважання першого вважаємо, що процес є динамічно стійким. У разі ж, коли переважає другий рівень вважаємо, процес є динамічно нестійким.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Фотографія поверхні різання: (а) – $n=1250$ об/хв, $t=15$ мм, $b=30$ мм, $S_z=0.08$ мм, $D=40$ мм, оброблювальний матеріал Сталь 45; б – різання $n=2000$ об/хв $t=15$ мм, $b=40$ мм, $S_z=0.08$ мм, $D=40$ мм, оброблювальний матеріал Сталь 45

(Поверхня отримана шляхом миттєвої зупинки процесу різання)

У деяких випадках, коли процес різання знаходиться в близькості від кордону динамічної стійкості (рівні АВ вимушених і автоколивань приблизно рівні) рисунок 2.7 для його оцінки необхідно визначити верхній і нижній довірчий інтервал спектру АВ.

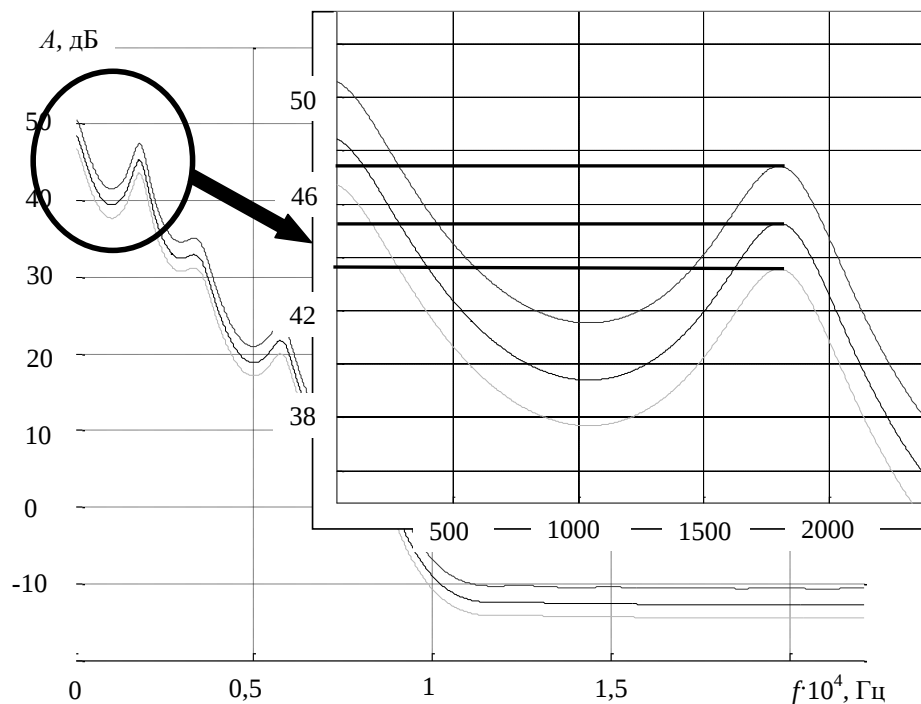


Рисунок 2.7 – Визначення верхнього та нижнього довірчих інтервалів спектру АВ

У разі, коли довірчі інтервали двох порівнюваних частот АВ перекриваються, вважаємо, що процес різання знаходиться на кордоні динамічної стійкості.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано для перевірки адекватності математичної моделі прогнозування областей режимів різання динамічно стійкого КФ, порівнювати теоретичні діаграми динамічної стійкості з експериментальними, отриманими шляхом аналізу сигналу АВ процесу КФ.
2. Для вертикально-фрезерного верстата 6P13Ф3 з системою ЧПК 2С42-65 розроблена методика прийому, перетворення, реєстрації та обробки АВ процесу КФ. З метою виявлення значимих діапазонів частот, запропоновано проводити аналіз сигналу АВ шляхом аналізу спектру сигналу отриманого з використанням методу MUSIC (Multiple Signal Classification).
3. Виявлено зв'язок між спектром сигналу АВ і коливаннями ТС. Виявлено діапазони частот спектра сигналу АВ вимушених коливань (20-130 Гц) і автоколивань (1500-5000 Гц) ТС.
4. Методом порівняння слідів, залишених лезом на поверхні різання з частотою піків спектра АВ, вперше експериментально доведено, що процес кінцевого фрезерування динамічно стійкий до автоколивань в тому випадку, якщо амплітуда коливань в діапазоні частот від 150 до 3000 Гц на частотах, які не кратні частоті зустрічі зубів фрези із заготовкою, максимум амплітуди коливань на частотах, кратних частоті зустрічі зубців фрези із заготовкою. Цей критерій може бути використаний для експериментальної ідентифікації автоколивань при кінцевому фрезеруванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дубровин В. И., Афонин Ю. С., Зинченко Р. Н. и др.и др. Подход к построению модели по звуковому сигналу с использованием вейвлет-преобразования//Радіоелектроніка інформатик управління. -Запоріжжя: ЗНТУ, 2007. -№ 17. -С. 112- 115.
2. Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. -Л.: Машиностроение, 1986. -184 с.
3. Зинченко Р. Н. Повышение эффективности точения за счет диагностики изнашивания инструмента по акустическому излучению: Дисс. ... канд. техн. наук:05.03.01. -Х., 2005. -149 с.
4. Каширин А. И. Исследование вибраций при резании металлов. -Л.: Академии наук СССР, 1944. -132 с.
5. Кедров С. С. Колебания металлорежущих станков. -М.: Машиностроение, 1978. -198 с.
6. Козловский Н. А., Зайкин М. П. Жесткость и виброустойчивость тяжелых фрезерных станков/Под ред. П. И. Ящерицын. -Мн: Наука и техника, 1986. -135 с.
7. Кудинов В. А. Динамика станков. -М.: Машиностроение, 1967. -367 с.
8. Кучма Л. К. Вибрации при работе на фрезерных станках и методы их гашения. -М.: Машгиз, 1959. -72 с.
9. Мурашкин Л. С., Мурашкин С. Л. Прикладная нелинейная механика станков. -Л.: Машиностроение, 1977. -192 с.
10. Попов В. И., Локтев В. И. Динамика станков. -К.: Техника, 1975. -136 с.
11. Рыжков Д. И. Вибрации при резании металлов и пути их устранения. - М.: Машгиз, 1961. -172 с.
12. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. -2 изд. -М.: Питер, 2007. -751 с.
13. Терещук Р. М., Терещук Р. М., Седов С. А. Полупроводниковые

приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя. -К.: Наукова думка, 1982. -672 с.

14. Тлустый И. Автоколебания в металлорежущих станках. -М.: Машгиз, 1956. -359 с.

15. Чеголин П. М., Пойда В. Н. Методы, алгоритмы и программы статического анализа/Под ред. Н. Ломако. -Мн: Наука и техника, 1971. -224 с.