

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Дослідження вібраційної усталеності процесу точіння
валів із сталі 60 різцями з твердосплавними непереточуваними
пластинами**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МВнм-61
спеціальності _____

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

	_____	Повх С.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	Луців І.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	Ярема І.Т.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	Кобельник В.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	Ляшук О.Л.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 6 » квітня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Повху Степану Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження вібраційної усталеності точіння валів із сталі 60
різцями з тврдосплавними непереточуваними пластинами

Керівник роботи Луців Ігор Володимирович, доктор технічних наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджено наказом ректора від « 6 » квітня 2020 року № 4/7-228

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 травня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Типовий технологічний процес обробки деталі «вал», паспорт токарно-гвинторізного верстату верстату 16К20Ф3, креслення різального інструменту з тврдосплавною непереточуваною пластиною

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналітичний розділ. Постановка мети і задач дослідження. 2) Аналіз базового технологічного процесу обробки деталі «вал».

3) Опис та обґрунтування конструкції токарного верстату. Вибір компоновки, структурної та кінематичної схеми. 4) Конструювання шпіндельного вузла токарного верстату.

5) Розробка математичної моделі амплітудних фазових частотних характеристик точіння.

6) Побудова і визначення значень АФЧХ для оцінки процесу. 7) Техніко-економічний аналіз.

8) Охорона праці і безпека життєдіяльності стосовно об'єкту дослідження. 9) Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1) Тема, мета роботи, об'єкт і предмет дослідження; завдання роботи.

2) Витяг з технологічного процесу механічної обробки деталі «вал».

3) Аналіз компоновок токарних верстатів. Вибір раціональної компоновки.

4) Кінематичний розрахунок і побудова структурно-кінематичної та кінематичної схеми.

5) Конструктивне виконання шпіндельного вузла верстату

6) Математична модель вібраційної усталеності процесу поздовжнього точіння валів із сталі 60 різцями з тврдосплавними непереточуваними пластинами.

7) Аналіз амплітудно-фазових частотних характеристик процесу точіння

8) Результати наукових досліджень і рекомендації щодо їх реалізації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Окіпний І.Б., к.т.н., доц., каф ЗВ		
Безпека життєдіяльності	Клепчик В.М., проректор з АГЧ		
Нормоконтроль	Ярема І.Т., к.т.н., доц., каф. ВІ		

7. Дата видачі завдання

6 квітня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи	Тиждень 1	
2	Інформаційно-патентний пошук	Тиждень 2	
3	Постановка мети і завдань дослідження	Тиждень 2	
4	Опис та обґрунтування конструкцій токарних верстатів для обробки валів	Тиждень 3	
5	Аналіз базового технологічного процесу	Тиждень 4	
6	Розробка структурної схеми верстату	Тиждень 5	
7	Кінематичний розрахунок верстату	Тиждень 5	
8	Конструювання шпиндельного вузла верстату	Тиждень 6	
9	Розробка послідовності проведення наукових досліджень	Тиждень 4	
10	Обґрунтування розрахунку вібраційної усталеності	Тиждень 5	
11	Побудова математичної моделі процесу	Тиждень 6	
12	Аналіз графічних залежностей АФЧХ	Тиждень 7	
13	Визначення рекомендацій щодо вібраційної усталеності процесу поздовжнього точіння валів із сталі 60 різцями з твердосплавними непереточуваними пластинами	Тиждень 8	
14	Застосування елементів CAD і CAE	Тиждень 8	
15	Розробка практичних рекомендацій щодо визначення вібраційної усталеності процесу поздовжнього точіння	Тиждень 9	
16	Техніко-економічний аналіз прийнятих рішень	Тиждень 10	
17	Охорона праці стосовно розробленого верстату	Тиждень 10	
18	Безпека життєдіяльності стосовно об'єкту	Тиждень 10	
19	Оформлення кваліфікаційної роботи	Тиждень 11	
20	Захист кваліфікаційної роботи	Тиждень 12	

Студент

(підпис)

Повх С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Луців І.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	9
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	11
1.1 Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи.....	11
1.2 Інформаційно-патентний пошук.....	16
2. ДОСЛІДНО – ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Опис та обґрунтування на основі аналогів перспективних конструкцій верстатів для точіння валів.....	22
2.2 Технологічні розрахунки щодо токарної обробки деталі вал із сталі 60з використанням різців із пластинами з твердого сплаву.....	25
2.3 Розробка структурної-кінематичної та кінематичної схем токарного верстату.....	39
2.4 Конструювання шпиндельного вузла верстату.....	44
3. НАУКОВО – ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	48
3.1 Методика досліджень наукового характеру та порядок їх Проведення.....	48
3.2 Розробка моделі розрахунку амплітудних характеристик процесу поздовжнього точіння деталі вал із сталі 60.....	50
3.3 Зміст наукових досліджень з використанням елементів CAD, CAM, CAE систем.....	55
3.4 Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень.....	63
3.5 Обговорення та аналіз отриманих результатів.....	66
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	68
4.1 Характеристика умов робочого місця відповідно до вимог охорони праці.....	68
4.2 Розрахунок захисного заземлення.....	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
БІБЛІОГРАФІЯ	76
ДОДАТКИ	79

РЕФЕРАТ

Тема роботи. Дослідження вібраційної усталеності процесу точіння валів із сталі 60 різцями з твердосплавними непереточуваними пластинами.

Метою даного дослідження є підвищення ефективності процесу точіння валів із сталі 60 різцями із твердосплавними непереточуваними пластинами на основі забезпечення вібраційної усталеності процесу обробки.

Об'єкт дослідження - процес точіння валів із сталі 60 на токарному верстаті.

Предмет дослідження – регуляторні закономірності вібраційної усталеності точіння валів із сталі 60 з використанням непереточуваних пластин із твердого сплаву.

В процесі досягнення поставленої в кваліфікаційній роботі мети отримані такі **результати**:

1. Проаналізовані методи і засоби дослідження, відомі на даний час, щодо динамічної стійкості процесу різання при точінні, а також проведено огляд відповідних розроблених математичних моделей.
2. Описані перспективні конструкції токарних верстатів для обробки валів.
3. Розроблена маршрутна технологія обробки деталі типу «вал» із конструкційної сталі, а також відповідна операційна технологія щодо токарної операції.
4. Проведено кінематичний розрахунок і спроектовано привід головного руху токарного верстату, призначеного для обробки валів, зокрема із сталі 60.
5. Здійснено розрахунок шпиндельного вузла токарного верстату.
6. Розвинуто математичну модель розрахунку частотних характеристик процесу поздовжнього точіння валів та отримання їх графічної побудови.
7. Розроблено математичну модель визначення вібраційної усталеності процесу поздовжнього точіння валів із сталі 60 різцями, оснащеними непереточуваними змінними твердосплавними пластинами.
8. Здійснено побудову АФЧХ досліджуваного процесу точіння для різних швидкостей різання і проведено їх аналіз.

9. На основі висновків щодо результатів досліджень сформульовані умови необхідної вібраційної усталеності обробки в процесі поздовжнього точіння.

АНОТАЦІЇ

Повх С.В.; " Дослідження вібраційної усталеності процесу точіння валів із сталі 60 різцями з твердосплавними непереточуваними пластинами ". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2020 р.

У кваліфікаційній роботі магістра розглянуті результати дослідження режимів вібраційної усталеності точіння при обробці на токарному верстаті валів із матеріалу сталь 60 різцями, які оснащені твердосплавними змінними непереточуваними пластинами. Метою роботи є підвищення ефективності вказаного процесу поздовжнього точіння валів на основі забезпечення при обробці вібраційної усталеності такого процесу. В кваліфікаційній роботі піддані аналізу існуючі дослідження щодо динамічних характеристик верстатів в процесі різання, які впливають істотною мірою на результуючі показники роботи обладнання, як власне і саме праці щодо динамічної характеристики процесу точіння. Проведення технологічних розрахунків щодо механічної обробки типової деталі «вал» із сталі 60 дали можливість отримання кращих схем формоутворення розглядуваної деталі, а також вибрати базову модель верстату для обробки. На основі варіантного відбору компоновального рішення раціонального характеру для токарного верстату здійснено кінематичне проектування приводу головного руху, а також розроблене конструювання коробки швидкостей зі шпindelним вузлом.

Відповідно до поставленої мети наукового пошуку показано, що методика досліджень вібраційної усталеності вимагає проведення динамічного розрахунку амплітудно – фазових частотних характеристик (АФЧХ) щодо розімкнутої системи за її передатною функцією. У кваліфікаційній роботі проведена для прикладу розробка математичної моделі визначення амплітудних характеристик процесу поздовжнього точіння деталі вал, яка передбачає графічні залежності для дійсної та уявної

частин динамічної характеристики та поведінку амплітудно-частотної та фазово-частотної характеристик, розрахованих відповідно до розробленої в роботі комп'ютерної програми. На основі представленої моделі побудови АФЧХ поздовжнього точіння валу показано, що для раціональної вібраційної усталеності процесу точіння валів із сталі 60 доцільно призначати оптимальні параметри режиму обробки з умови раціональної експлуатації різальних елементів, оснащених багатогранными твердосплавними непереточувальними пластинами при швидкостях різання 50...80 м/хв. При цьому обмеження по величині зносу грані пластини по задній поверхні становлять 0,6...0,7 мм.

Проведені в роботі дослідження супроводжуються комп'ютерними розрахунками за оригінальними програмами. В кваліфікаційній роботі розроблені заходи, що стосуються охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: вібраційна усталеність, токарний верстат, поздовжнє точіння, твердосплавна пластина, амплітудна характеристика, частотна характеристика.

Povkh S.V.; " Study of vibration stability of steel 60 shafts turning by cutters with disposable hard alloy plates" 133 – Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2020.

The Master Qualification Paper deals with the research results of turning vibration stability conditions in lathe machining of steel 60 shafts by cutters with disposable hard alloy plates. The investigation goal lies in the process of turning machining increasing effectiveness on the base of providing of such process vibration stability in machining. The qualification paper analyzes present researches of machine dynamical characteristics in the process of cutting influencing significantly the equipment result work capacities as well as scientific papers dealing with the dynamical characteristic of the turning process. The technological calculations of the standard steel 60 shaft machining were provided allowing receiving the best shape forming schemes of the given work piece and to chose the basic machine tool model for machining. On the base of variant selection of rational structure decision of lathe the kinematic design of the main motion drive was carried out. In this way the speed box design with a spindle unit was developed. In accordance with the research goal it is shown that the research method dealing with the

vibration stability needs the dynamical calculation of amplitude and phase characteristics (APFC) to be carried out analyzing the transfer function of an open system. The qualification paper is exemplified with the mathematical model development concerning the determination of amplitude characteristics of the work part – shaft- longitudinal turning. This model provides graphical dependences of real and imaging parts of dynamical characteristic as well as amplitude-frequency and phase-frequency characteristics calculated in accordance with the computer program developed in the paper. Based on the presented model of the longitudinal shaft turning APFC development it is shown that to provide the steel 60 shaft turning process vibration stability it is advisable to set the optimum machining regimes in condition of rational operation of cutting elements equipped with the

Disposable hard alloy plates in 50...80 m/min cutting speeds. At the same time the restrictions towards the wear of the face of the plate on the rear surface are of the 0,6...0,7 mm value. The paper research is also conducted with original program computer calculations. The qualification paper contains the developed labor protection and life safety measures.

Key words: vibration stability, lathe, longitudinal turning, hard alloy plate, amplitude characteristic, frequency characteristic.

ВСТУП

Одним із завдань сучасного машинобудування є створення вібростійких верстатів. Вібростійкість при цьому виступає надійним критерієм високої якості всієї конструкції.

Дослідження динамічної стійкості або ж вібраційної усталеності необхідне на стадії проектування верстату. Знання впливу тих чи інших параметрів на стійкість верстату допомагає підібрати їх таким чином, щоб стан конструкції був стійким при будь-яких умовах роботи. Окрім того, важливим є те, що такі дослідження дозволяють підійти комплексно до розширення області стійкості.

Таким чином, розрахунок стійкості повинен займати таке ж місце при проектуванні як і розрахунки жорсткості, міцності і економічності.

В цьому плані дослідження вібраційної усталеності в процесі різання на верстаті займає особливе місце.

Визначення вібраційної усталеності передбачає розвиток залежності граничної ширини стружки від швидкості різання. Такий підхід знайшов своє відображення у динамічній характеристиці процесу різання. В загальному вигляді динамічна характеристика процесу різання має досить складний вигляд і враховує вплив сил на задній поверхні, зміну переднього і заднього кутів різальних елементів.

При цьому динамічна характеристика повинна враховувати властивості матеріалу деталі, елементи режиму різання, геометрію інструменту та інші дані. Зрозуміло, що ця характеристика має свої особливості для різних методів і схем обробки, способів різання, умов процесу, кріплення різальної частини інструменту, матеріалу його різальної частини та інших факторів.

Тому дослідження вібраційної усталеності стосовно процесу точіння валів із сталі 60 при умові використання різців з твердосплавними непереточуваними пластинами є важливою та актуальною проблемою.

Дана кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-наукового ступеня магістр виконана на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені

Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів полягає в наступному:

1. За рахунок встановлення закономірностей між окремими факторами розвинуто математичну модель, на основі якої розраховані частотні характеристики процесу поздовжнього точіння валів.
2. На основі аналізу побудови АФЧХ створено математичну модель розрахунку вібраційної усталеності процесу поздовжнього точіння валів із сталі 60 різцями, які оснащені твердосплавними пластинами.

Практичне значення отриманих у роботі результатів таке:

1. Розроблені компоновочна схема, кінематична структура та приклад приводу головного руху токарного верстату для обробки валів.
2. Запропоновано методику розрахунку вібраційної усталеності токарної обробки валів.
3. Побудовані АФЧХ процесу точіння валів із сталей 60 для різних швидкостей різання різцями із твердосплавними пластинами.
4. Визначені умови достатньої вібраційної усталеності механічної токарної обробки валів із сталі 60.

Апробація досліджень

Результати досліджень за тематикою роботи магістра представлені на III міжнародній студентській науково-технічній конференції 23-24 квітня 2020 року (2020 р.) і опубліковані за посиланням:

Повх С. Вібраційна усталеність процесу як елементу динамічної системи верстату / Матеріали III міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 року), 2020. - С.95-96.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку літератури (29 найменувань), 4 додатків.

Загальний обсяг текстової частини – 79 сторінок, 9 таблиць, 18 рисунків.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи

Щодо аналізу проблематики виконуваної дипломної роботи зупинимось на відомих поняттях про динамічні характеристики динамічної системи верстату при точінні.

При дослідженні сучасних металорізальних верстатів значну увагу звертають на їх динамічні характеристики в процесі різання, оскільки вони значною мірою впливають на результуючі показники роботи верстатів, [1]. Тому при відповідному моделюванні користуються поняттям динамічної системи верстату, [2].

Відповідно до представленого у [3] динамічна система верстату утворюється сукупністю пружної системи (ПСВ) (тобто оброблюючою системою у вигляді верстату, оснащення, інструментального забезпечення і власне деталі), а також робочих процесів (РП) у верстаті. До робочих процесів відносять процеси різання, тертя у двигуні металорізального верстату та інші. Таким чином, динамічна система верстату може бути зображена у вигляді замкнутої системи, що наведено на рис. 1.1.

Вважається, що дія РП на ПСВ формується головним чином силовими факторами, а саме – зусиллям різання P ; силою тертя $F_{тр}$; моментом руху двигуна $T_{дв}$. Така дія викликає зміщення конструктивних елементів ПСВ – для токарного верстату - власне різця, заготовки, супорта, напрямних, станини.

В свою чергу дія ПСВ на РП результується в зміні січення зрізу, нормального тиску на поверхнях тертя, швидкості руху різального елемента. Це викликає відповідну зміну зусиль, виділенні теплоти та інші ефекти.

Таким чином, зусилля та інші види дії робочих процесів на ПСВ є функціями координат або ж їх похідних власне ПСВ. Ці ж координати виражають зворотну дію, тобто зворотний зв'язок, самої ПСВ на робочі процеси у металорізальному верстаті.

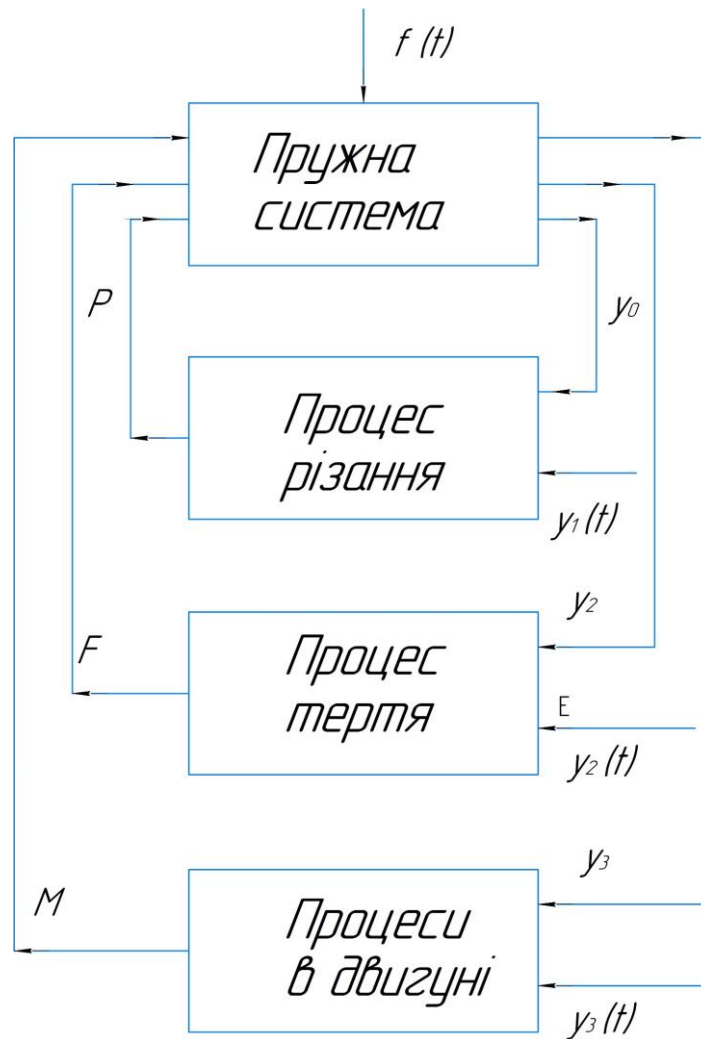


Рис. 1.1. Блок-схема замкнутої динамічної системи металорізального верстату

Зворотні зв'язки принципово змінюють характер динамічних явищ у верстатах. При цьому вони такі, особливості цих складних технічних об'єктів (систем) [3], як

- динамічна система верстата є замкнутою і багатоконтурною системою. Вона містить джерело енергії, і таким чином є активною системою;
- дії основних елементів системи можуть розглядатись як направлені – тобто цілеспрямовані;
- взаємодії між робочими процесами відбуваються лише через ПСВ.

Проілюструємо першу особливість на прикладі деформації. При цьому маємо на увазі, що ПСВ піддається деформації від зусилля різання. Деформація викликає зміну відносного положення різального інструменту та

заготовки. Це в свою чергу веде за собою зміну перерізу зрізаного шару (зрізу). Таким чином, відповідна зміна зусилля різання відображається на величині деформації ПСВ і т.д.

Щодо другою особливості динамічної системи верстату, то вона є свідченням достатньої простоти системи. Це означає, що дія одного елементу динамічної системи на інший не супроводжується зворотною дією. Врахування цього дозволяє у ряді випадків коректно зобразити динамічну систему у простому вигляді при спрямованих зв'язках між основними елементами.

Спрямованість зв'язків дозволяє для зручності аналітичного розгляду розділити динамічну систему. Це супроводжується розмиканням зв'язків між окремими елементами. Якщо ми розімкнемо систему по одному із зв'язків, то отримаємо розімкнуту систему (рис. 1.2).

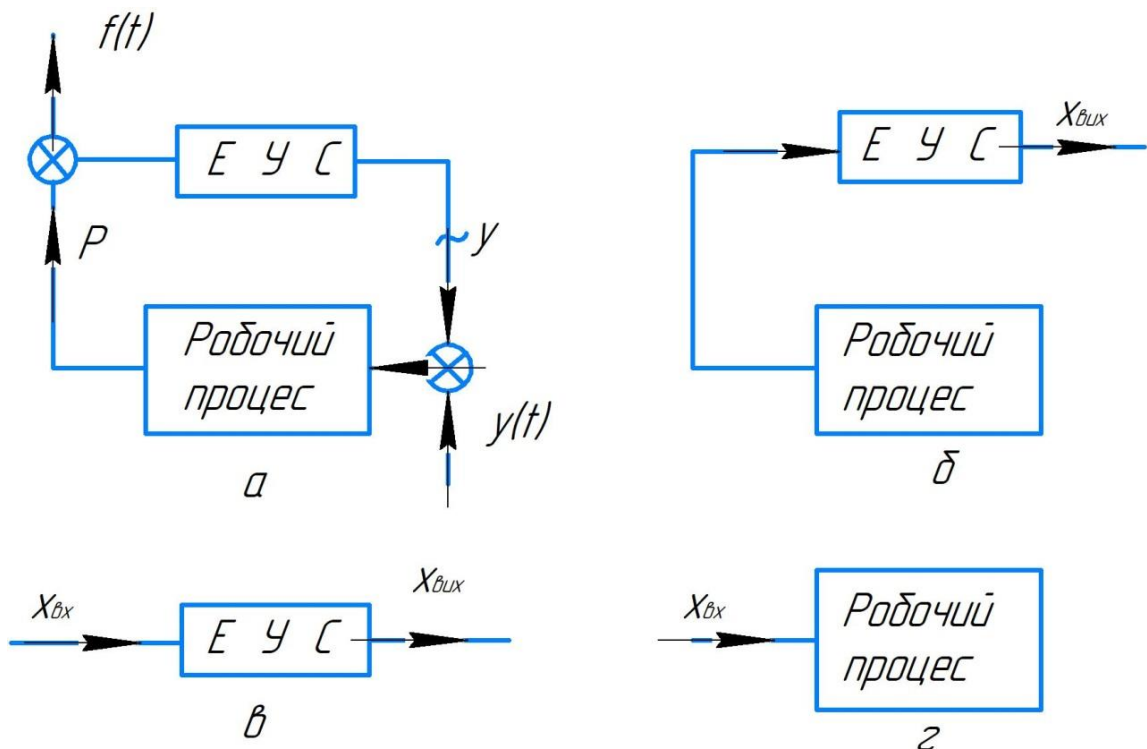


Рис. 1.2. Варіанти розмикання одно контурної динамічної системи

Якщо ж розірвати два зв'язки, то виявляється можливим окремо елемент системи. Тоді такий елемент можна розглядати окремо, а також вивчати його властивості. Такі властивості можуть набирати вигляду залежності між координатами на вході в виході системи. Така залежність як правило, носить назву характеристики елемента або ж системи. Якщо вхідна координата є незмінною у часі, то кажуть про статичну характеристику системи. Якщо ж

вхідна координата змінюється у часі, то характеристику системи розглядають, як динамічну. В більшості випадків, як наведено у теорії автоматичного керування, [4], намагаються прийти до лінійних залежностей і зосереджених параметрів. Це, зокрема, стосується і залежності деформацій ПСВ від діючого зусилля. Характеристики лінеаризують, тобто представляють у вигляді лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами.

З врахуванням вказаних вище припущень вводять поняття передаточної функції системи в операторній формі, [4], тобто:

$$W(p) = \frac{X_{вих}}{X_{вх}} = \frac{R(p)}{Q(p)}$$

де $X_{вих}$ і $X_{вх}$ – вхідна і вихідна координати системи; $R(p)$ і $Q(p)$ – операторні многочлени.

При послідовному з'єднанні елементів передаточна функція системи дорівнює добутку передаточних функцій її елементів. При паралельному з'єднанні елементів – загальна передаточна функція дорівнює сумі передаточних функцій елементів, [4].

Для того, щоб аналізувати динамічні властивості систем часто використовують частотні методи. Відповідно до цих методів частотні динамічні характеристики визначаються при зміні вхідної координати у часі за законом гармонійних коливань, [5]. Розрізняють:

- амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) $A=f(\omega)$;
- фазо-частотні характеристики (ФЧХ) $\varphi=f(\omega)$;
- амплітудно-фазові частотні характеристики (АФЧХ).

Приклади таких характеристик наведені на рис. 1.3.

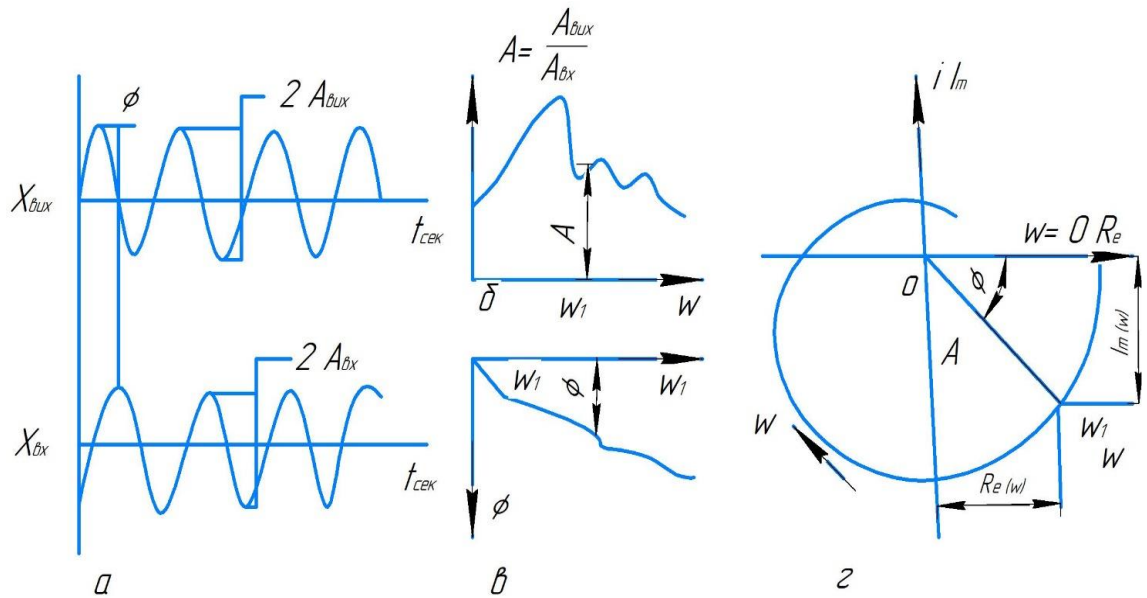


Рис. 1.3. Частотні характеристики: а) характер вхідних і вихідних координат; б) АЧХ; в) ФЧХ г) АФЧХ

Перехід від передаточної функції $W(p)$ до частотної амплітудно-фазової характеристики $W(i\omega)$ здійснюється шляхом заміни символу диференціювання p на $i\omega$. При цьому $-i$ це уявна одиниця, а ω – кругова частота.

Таким чином, АФЧХ розімкнутої системи $W_{роз}(i\omega)$ матиме вигляд [4]:

$$W_{роз}(i\omega) = \frac{X_{вих}}{X_{вх}} = \frac{R(i\omega)}{Q(i\omega)}$$

Ця характеристика є комплексною величиною.

Інакше вона може бути представлена у двох формах [4]:

$$W(i\omega) = \text{Re}(\omega) + i\text{Im}(\omega)$$

де $\text{Re}(\omega)$ та $\text{Im}(\omega)$ – реальна та уявна частини характеристики відповідно.

Також можна записати, що

$$W(i\omega) = A(\omega)e^{i\phi(\omega)}$$

де $A(\omega)$ – амплітуда, що дорівнює співвідношенню амплітуд вихідної і

вхідної координат.

Перехід від однієї форми представлення динамічної характеристики до іншої здійснюється так [4]:

$$A(\omega) = \sqrt{\operatorname{Re}^2(\omega) + \operatorname{Im}^2(\omega)};$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(\omega)}{\operatorname{Re}(\omega)}.$$

Якщо маємо паралельне чи послідовне поєднання ланок, то характеристики відповідно додаються чи перемножуються за правилами додавання та множення комплексних чисел.

Слід мати на увазі, що частотні методи аналізу, рівно як і частотні характеристики можна застосовувати лише до лінійних чи лінеаризованих систем. Проте в деяких випадках, де це прийнятно, їх застосовують і до суттєво нелінійних задач.

1.2. Інформаційно-патентний пошук

В цьому підрозділі зупинимось на аналізі відомої із літературних джерел інформації про математичне моделювання процесу різання з врахуванням його динаміки.

У металорізальному верстаті робочі процеси є складним комплексом явищ, вивчення яких зосереджується у ряді дисциплін. Це, зокрема, теорія різання металів, теорії процесів тертя і зношування, електротехніка і гідродинаміка та інші, [6]. При цьому до всіх робочих процесів у верстатах можна застосувати єдиний комплексний підхід. Ці спільні риси робочих процесів полягають у виникненні певних сил при відносному русі окремих тіл і середовища, [7]. Так, зусилля, що виникають включають окремі складові, які виступають функціями ортогональних координат. Зокрема, тангенціальна складова зусилля різання P_z є функцією ортогональних координат зміщень рухомих тіл, а саме – різця і заготовки – у напрямку, який перпендикулярний до цієї сили. Окрім того, дія зусиль, що виникають пов'язана із відставанням у часі їх зміни стосовно відносного положення або руху тіл, які власне утворюють відповідне рухоме з'єднання. Вказане

відставання є наслідком інерційності чинних у верстаті робочих процесів. Відповідно таке відставання знаходить відображення в динамічних характеристиках робочих процесів у верстаті, які виявляються відповідними елементами динамічної системи верстату.

Для нашого випадку у якості робочого процесу у верстаті розглядаємо процес різання. Характеристики процесу різання залежать від ряду факторів. Це в тому числі – властивості динамічної системи верстату, режими різання, які застосовуються, геометрія різальних інструментів, матеріал їх різальної частини та інші.

У роботах багатьох вчених розглядалися і досліджувалися різні моделі динамічної характеристики власне процесу різання. Такі залежності визначалися як залежності зміни зусилля різання від зміни відносного зміщення заготовки та інструменту, що було викликане власне зміною сили різання.

Зокрема у працях В.О. Кудинова [3] була розвинута модель динамічної характеристики процесу різання, яка враховувала зміну зусилля різання залежно від зміни товщини шару матеріалу, що зрізується. Цю модель в операторній формі можна представити у вигляді такої передаточної функції

$$P_{\text{різ}}(p) = \frac{K_{\text{різ}}}{T_{\text{різ}}p + 1} y(p) \quad (1.1)$$

де $P_{\text{різ}}(p)$ і $y(p)$ – перетворення по Лапласу зміни сили різання і відносно зміщення інструменту (різця) та заготовки.

У цій формулі використовується поняття коефіцієнту різання, який можна записати у вигляді формули:

$$K_{\text{різ}} = Kb = \sigma_0 \xi_0 b$$

де σ_0 – умовне напруження, Мпа; ξ_0 – середнє значення усадки стружки;
 b – ширина шару, що зрізується, мм.

Наведена формула також використовує поняття постійної часу стружкоутворення:

$$T_{\text{piz}} = \frac{m}{n} \xi_0 \frac{a_0}{v}$$

де m і n – параметри, які характеризують координати точки прикладення сили різання відносно площини зсуву; a_0 – задана товщина шару, що зрізується, мм; v – швидкість різання, мм/с.

Є більш складні моделі типу передаточної функції, які, зокрема, описують процес поздовжнього точіння.

Так, використовують обчислення значення величини

$$\lambda = m_x K_x + K_\phi m_y K_y .$$

де $m_x = \left(\frac{\partial P_x}{\partial a} \right)$ і $m_y = \left(\frac{\partial P_y}{\partial a} \right)$ - коефіцієнти при осьовій і радіальній

складових зусиль різання, які змінюються із зміною товщини, а зрізуваного шару. Також K_x і K_y – це коефіцієнти, які характеризують податливість верстата за відповідними координатами при дії зусиль різання. Величина $K_\phi = \text{ctg} \phi$ - це коефіцієнт, який враховує вплив пружної деформації по осі y на зміну шляху різання (ϕ – головний кут і плані різця).

Якщо $\lambda < 0,1$, то передаточну функцію процесу різання можна представити у спрощеному вигляді, [5]:

$$W(p) = \frac{m_z}{p} (1 - e^{-p\tau}) \quad (1.2)$$

де $m_z = \left(\frac{\partial P_z}{\partial b} \right)$ - коефіцієнт при складовій зусилля різання, яка змінюється із зміною ширини b зрізуваного шару. При цьому величина τ – час запізнення, с:

$$\tau = \frac{1}{n_{\text{ун}}}$$

де $n_{\text{шп}}$ – частота обертання шпинделя.

При $\lambda > 0,1$ використовують розклад функції $e^{-p\tau}$ в ряд [5] отримують значення передаточної функції для процесу поздовжнього точіння у іншому вигляді:

$$W(p) = \frac{m_z \tau}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (1.3)$$

де постійні часу

$$T_{1,2} = 0,5\tau \left[0,5 + \lambda \pm \sqrt{(0,5 + \lambda^2) - 0,33} \right].$$

Якщо $T_1 > T_2$ на порядок, то можна зробити ще одне коректне припущення типу:

$$W(p) = \frac{m_z \tau}{(T_1 p + 1)} \quad (1.4)$$

В окремих роботах, [2] також розглянуті особливості багато різцевої обробки, особливо деталей малої жорсткості.

Такі особливості за лежать від податливості пружної системи в послідовності від різця до різця. Їх можна також виразити за допомогою передаточної функції системи. Цю передаточну функцію зручно представити у вигляді:

$$W(p) = \sum_{i=1}^N \frac{K_{pi3} i}{T_{pi3} p + 1} \quad (1.5)$$

де N – кількість різальних інструментів.

Якщо при цьому розглядати процес розточування, то треба мати на увазі різницю в податливості борштанги в місці кріплення різців. Тоді передаточні функція процесу багато різцевої обробки може бути зведена до передаточної функції процесу різання одним із найбільш податливих різців:

$$W(p) = \frac{K_p \left(1 + \sum_{i=1}^N \frac{\Delta_{i1}}{\Delta_{li}} \right)}{T_{pi3} p + 1} \quad (1.6)$$

де Δ_{1i} – статистичні коефіцієнти [Поп]; Δ_{i1} – податливість лімітуючого різця, яка характеризується довжиною вильота, що приймає максимальне значення.

Таким чином отримують передаточні функції процесів різання при точінні, тобто обробці деталей різцями.

Висновки по розділу 1, постановка мети та задач дослідження

В рамках розгляду даного розділу 1 можна зробити такі висновки:

- 1) динамічні характеристики в процесі різання значною мірою впливають на результуючі показники роботи верстатів;
- 2) розмикання зв'язків замкнутої динамічної системи верстату дозволяє розглядати окремо динамічну характеристику процесу різання, яка описується амплітудно-частотними чи фазо-частотними характеристиками;
- 3) математичне моделювання динамічної стійкості процесу різання формується на основі характеристик, які виражаються за допомогою передаточних функцій.

Таким чином, можна здійснити постановку мети даного дослідження в рамках виконуваної кваліфікаційної роботи, як і сформулювати основні задачі дослідження.

Метою даного дослідження є підвищення ефективності процесу точіння валів із сталі 60 різцями із твердосплавними непереточуваними пластинами на основі забезпечення вібраційної усталеності процесу обробки.

Об'єкт дослідження - процес точіння валів із сталі 60 на токарному верстаті.

Предмет дослідження – регуляторні закономірності вібраційної усталеності точіння валів із сталі 60 з використанням непереточуваних пластин із твердого сплаву.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній дипломній роботі сформульовані для реалізації виконання такі **задачі**:

1. Провести аналіз відомих методів і засобів дослідження динамічної стійкості процесу точіння, а також відповідних математичних моделей.
2. Здійснити опис відомих перспективних конструкцій токарних верстатів для обробки валів, в тому числі малої жорсткості.

3. Розробити технологію обробки деталі типу «вал» із конструкційних сталей.
4. Розробити кінематику приводу головного руху токарного верстату для обробки валів із сталі 60.
5. Провести силовий розрахунок і розрахунок на жорсткість шпиндельного вузла токарного верстату.
6. Розвинути математичну модель визначення амплітудно-частотних і фазово-частотних характеристик процесу поздовжнього точіння валів із сталі 60 та отримати їх графічні зображення.
7. Побудування математичної моделі вібраційної усталеності процесу точіння стосовно обробки валів із сталі 60 за допомогою різців, оснащених непереточуваними пластинами із твердого сплаву.
8. Зобразити АФЧХ досліджуваного процесу для ряду випадків і здійснити аналіз їх графічних представлень.
9. Провести обробку результатів математичного моделювання і формулювання висновків щодо забезпечення достатньої вібраційної усталеності досліджуваного процесу обробки.

2. ДОСЛІДНО – ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Опис та обґрунтування на основі аналогів перспективних конструкцій верстатів для точіння валів

Для токарної обробки використовується широка гама токарних верстатів, [7,8]. Поряд з основним призначенням – механічної обробки зовнішніх поверхонь, вони передбачають обробку різцями внутрішніх циліндричних, конічних, фасонних і торцевих поверхонь тіл обертання. Також їх застосовують для нарізання різьб різцями, мітчиками, плашками та іншими інструментами, а також для свердління, зенкерування і розвертування отворів, для накатування і інших операцій.

Токарні верстати є найбільш розповсюдженими з металорізальних верстатів, [9]. Вони характеризуються двома основними параметрами: найбільшим діаметром оброблюваної заготовки над станиною (100-5000 мм) і найбільшою довжиною заготовки (125-24000 мм).

Для розглядуваної нами токарної операції – обробки валів – доцільно використовувати токарний патронно – центровий верстат з ЧПК мод. 16К20Ф3. Його основне призначення - це токарна обробка деталей типу тіл обертання в замкнутому циклі. На цьому верстаті можлива токарна обробка зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей зі ступінчастим і криволінійним профілем в осьовому січенні при напіваавтоматичному циклі, що задається програмою.

Верстат призначений для зовнішньої токарної обробки поверхонь із діаметром до 400 мм, а також і внутрішніх поверхонь деталей. Довжина деталей - до 1000 мм. Оброблювані деталі можуть бути із ступінчастим та криволінійним профілем. Верстат застосовується у дрібносерійному, а також – у серійному виробництві. Клас точності II по ГОСТ 8-82.

Конструкція токарного верстат 16К20Ф3 є подібною до базового токарно-гвинторізного верстата 16К20. Це є причиною того, що компоновка, а також складові частини верстатів 16К20Ф3 і 16К20 – однакові. Окремі рухи у цих верстатах теж є однаковими. Конструкція верстата 16К20Ф3 є також багато в чому уніфікованою.

Його основні технічні характеристики наведені у табл. 2.1, [10].

Таблиця 2.1. Характеристика токарно-патронного верстата мод. 16К20Ф3

Технічна характеристика	Позначення	Параметр
1	2	3
Найбільший діаметр обробки над станиною	мм	320
Найбільший діаметр обробки над супортом	мм	200
Найбільша довжина виробу при 8 -ми позиційній голівці	мм	750
Відстань між центрами	мм	1500
Розмір внутрішнього конуса шпинделя		Морзе №6
Діаметр наскрізного отвору в шпинделі	мм	55
Найбільший хід повздовжнього супорта	мм	210
Найбільший хід поперечного супорта	мм	905
Діапазон швидкостей поздовжніх подач	мм/хв (мм/об)	10..2000 (2,8)
Діапазон швидкостей поперечних подач	мм/хв (мм/об)	5..1000 (1,4)
Межі частот прямого обертання шпинделя	хв-1	20...2500
Кількість позицій при повороті різцетримача (число інструментів в револьверній голівці)		8 (6,12)
Позначення системи ЧПУ		2P22
Число координат		2
Дискретність заданих координат в поздовжньому / поперечному напрямку (дискретність по осі Z , X)		0,001
Межі програмованих подач поздовжніх / поперечних		0,01...20/ 0,01..10
Найбільше січення різця	мм/об	25
Потужність електродвигуна головного приводу	кВт	11

Продовження таблиці 2.1

Габаритні розміри верстата (Д x Ш x В)	мм	3 700 x 3 000 x 2 100
Маса верстата	кг	4150

Щодо інших даних про верстат 16К20Ф3, то слід сказати наступне. Важливим є питання пристрою ЧПК верстата. Так, верстат може оснащуватися різними типами систем ЧПК, зокрема роз'єднаними, замкнутими, СТС. На верстаті забезпечуються рухи формоутворення відповідно до аналогічних для токарних верстатів. При цьому кількість одночасно керованих координат дорівнює двом. Слід мати на увазі, що зміна значень подач, а також перемикання частот обертання шпинделя, рівно як і індексація різцевої головки та нарізання різьби здійснюється програмним чином.

Фланцевий кінець шпинделя виконаний за стандартом: ГОСТ 12593, тобто DIN 55027, ISO 702-3-75 під поворотну шайбу. Центруючий короткий конус має такі параметри- 1: 4 ($7^{\circ} 7'30''$). Номінальний діаметр конуса має величину $D = 106,375$ мм. Внутрішній (інструментальний) конус шпинделя - Морзе 6. Верстат має два стандартних діаметри токарного патрона -200 і 250 мм.

Базова модель верстата 16К20Ф3 має деякі конструктивні недоліки, що можуть бути усунуті при модернізації, зокрема: недосконалі давачі зворотнього зв'язку на ходових гвинтах приводів подач; несучасна система ЧПК. Також було б бажано спорядити револьверну головку автономним приводом для свердління фланцевих отворів. Щодо кінематичних характеристик верстата, то на наш погляд, недостають широким є діапазон частот обертання шпинделя. Дещо ускладненою є коробка швидкостей.

Вказані недоліки є підставою для визначення можливих шляхів модернізації такого токарно-центрового верстату. Ці шляхи можна згрупувати у такі напрямки:

1. Розширення діапазону регулювання приводу головного руху і зміщення цього діапазону в бік верхніх значень.
2. Автоматизація переключень передач головного руху і модернізація револьверної головки.
3. Застосування сучасних системи ЧПК і датчиків лінійних переміщень для приводів поперечної і поздовжньої подач.

2.2. Технологічні розрахунки щодо токарної обробки деталі вал із сталі 60 з використанням різців із пластинами з твердого сплаву

2.2.1. Характеристика деталі і її матеріалу

В якості прикладу щодо типової деталі оберемо деталь «вал», ескіз якої представлено на рис. 2.5.

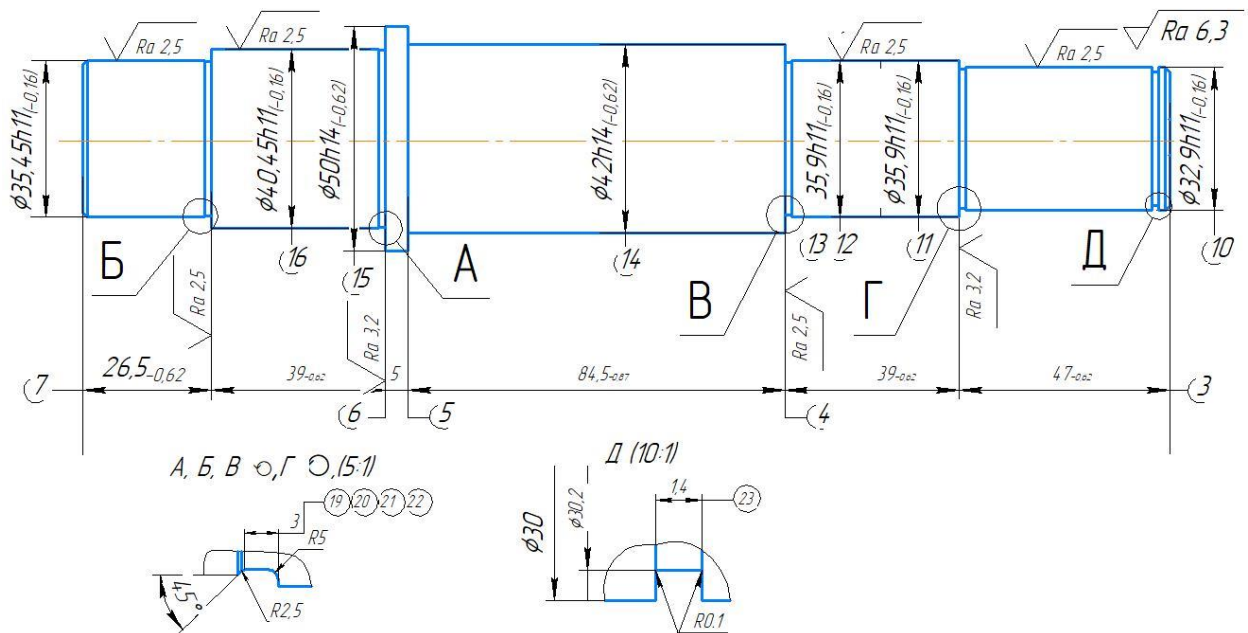


Рис. 2.1. Ескізне креслення деталі «вал»

Деталь виготовляється із сталі 60.

Ця сталь відноситься до нелегованих спеціальних сталей, [11]. В середньому вона містить 0,6% вуглецю. Ступінь розкислення даної сталі – спокійна. Масова доля інших елементів – така: кремній (Si) - 0,17-0,37%; марганець (Mn) – 0,50-0,80%. Модуль пружності цієї сталі порядку 200 ГПа. Щодо оброблюваності різанням, слід вказати на те, що в нормалізованому стані при HB241 при обробці твердим сплавом коефіцієнт $K_v=0,7$, а при обробці інструментом із швидкорізальної сталі - $K_v=0,65$.

Із розглядуваного матеріалу виготовляють робочі валки для гарячої прокатки металів, пружинні кільця амортизаторів, замкові шайби,

відповідальні вали, а також інші деталі, до яких пред'являють вимоги високої міцності та зносостійкості.

2.2.2. Розробка маршрутного технологічного процесу

Як правило, даний пункт виконують в певній послідовності, [12], яка відображена для двох варіантів у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Можливі методи і стадії механічної обробки деталі

№ пов	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
		Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	1	2
1	2	3	4	5	6
1,2	Плоска торцева 241h14	14	Ra 6,3	1) Обточування при поперечній подачі чорнове (h14)	1)Фрезерування чорнове (h14)
3	Плоска торцева 47h14	14	Ra 3,2	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Обточування при повздовжній подачі напівчистове	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Шліфування торця
4	Плоска торцева 39h14	14	Ra 2,5	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Обточування при повздовжній подачі напівчистове	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Шліфування торця
5	Плоска торцева 84,5h14	14	Ra 3,2	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Обточування при повздовжній подачі напівчистове	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Шліфування торця
6	Плоска торцева 39h14	14	Ra 3,2	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Обточування при повздовжній подачі напівчистове	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Шліфування торця

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
7	Плоска торцева 26,5h14	14	Ra 2,5	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Обточування при повздовжній подачі напівчистове	1) Обточування при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Шліфування торця
8,9	Центровий отвір Ø 6,3	—//—	—//—	1) Центрування	—//—
10	Зовнішня цилін - дрична Ø 32n6	6	Ra 0,8	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Точіння при повздовжній подачі напівчистове (h11) 3) Точіння при повздовжній подачі чистове (h8) 4) Точіння при повздовжній подачі тонке (n6)	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Точіння при повздовжній подачі напівчистове (h11) 3) Точіння при повздовжній подачі чистове (h8) 4) Шліфування кругле врізне чистове (n6)
11	Зовнішня циліндрична на Ø 35d9	9	Ra 0,2	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Точіння при повздовжній подачі напівчистове (h11) 3) Точіння при повздовжній подачі чистове (d9) 4) Точіння при повздовжній подачі тонке(d9) 5)Полірування	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Точіння при повздовжній подачі напівчистове (h11) 3) Точіння при повздовжній подачі чистове (d9) 4) Шліфування кругле врізне чистове (d9) 5)Полірування

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
12, 13	Зовнішня циліндрич на Ø 35js6	6	Ra 0,8	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Точіння при повздовжній подачі напівчистове (h11) 3) Точіння при повздовжній подачі чистове (h8) 4) Точіння при повздовжній подачі тонке (js6)	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Точіння при повздовжній подачі напівчистове (h11) 3) Точіння при повздовжній подачі чистове (h8) 4) Шліфування кругле врізне чистове (js6)
14	Зовнішня циліндрич на Ø 42h14	14	Ra 6,3	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14)	—//—
15	Зовнішня циліндрич на Ø 50h14	14	Ra 6,3	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14)	—//—
16	Зовнішня циліндрич на Ø 40h8	8	Ra 0,8	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Точіння при повздовжній подачі напівчистове (h11) 3) Точіння при повздовжній подачі чистове (h8) 4) Точіння при повздовжній подачі тонке(h8)	1) Точіння при повздовжній подачі чорнове (h14) 2) Точіння при повздовжній подачі напівчистове (h11) 3) Точіння при повздовжній подачі чистове (h8) 4) Шліфування кругле врізне чистове(h8)
17, 18	Зовнішня конічна фаска 1×45°	—//—	—//—	1)Обточування при поперечній подачі	—//—
19, 20, 21, 22	Зовнішні фасонні канавки b=3мм, R0,5; 45°	—//—	—//—	1)Обточування при повздовжній подачі	—//—

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
23	Зовнішня циліндрич на канавка Ø 30,2 b=1,4	14	Ra 6,3	1)Точіння при поперечній подачі	—//—
24	Зовніш ній шпонкови й паз l=43, b=10P9, h=5 (+0,2)	9	Ra 6,3	1)Фрезерува- ння при маятниковій подачі	Стругання

Враховуючи відомі принципи проектування технологічних процесів і рекомендацій встановлюємо послідовність виконання технологічних операцій.

2.2.3. Розробка операційної технології

Для операційної технології приймаємо операцію 015 токарна з ЧПК. ЧПК мод. 16K20Ф3. Технологічними базами на операції 015 є чорнові поверхні 8 та 9. В якості пристосування використовуємо рифлений і обертовий центр.

Операція 015 складається з наступних переходів перехід 1 – встановлення і закріплення заготовки) (таблиця 2.3):

Таблиця 2.3. Склад токарної операції з використанням вимог [12]

Номер, назва операції, переходу	Інструмент		
	Допоміжний	Різальний	Вимірний
1	2	3	4
015 Токарна з ЧПК			
Перехід 2: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 15	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1181 ГОСТ 24996-81 Ріжуча пластина 01114-220408 Т5К10 ГОСТ19046-80	ШЦ-I-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88
Перехід 3: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 14 з підрізкою торця 5	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1181 ГОСТ 24996-81 Ріжуча пластина 01114-220408 Т5К10 ГОСТ19046-80	ШЦ-I-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05-1 ГОСТ 166-88
Перехід 4: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 12 і 11 з підрізкою торця 4	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1181 ГОСТ 24996-81 Ріжуча пластина 01114-220408 Т5К10 ГОСТ19046-80	ШЦ-I-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88
Перехід 5: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 10 з підрізкою торця 3	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1181 ГОСТ 24996-81 Ріжуча пластина 01114-220408 Т5К10 ГОСТ19046-80	ШЦ-I-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
Перехід 6: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 16 з підрізкою торця 6	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 (лів.)Ріжуча пластина 01114- 220408 Т5К10 ГОСТ19046-80	ШЦ-I-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88
Перехід 7: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 13 з підрізкою торця 7	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 (лів.)Ріжуча пластина 01114- 220408 Т5К10 ГОСТ19046-80	ШЦ-I-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88
Перехід 8: Напівчистове точіння зовнішньої поверхні 11 і 12 з підрізкою торця4	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 Ріжуча пластина 01114-16412 Т5К10 ГОСТ19046-80	Мікрометер МК 50-1 ГОСТ 6507- 90
Перехід 9: Напівчистове точіння зовнішньої поверхні 10 з підрізкою торця3	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 Ріжуча пластина 01114-16412 Т5К10 ГОСТ19046-80	Мікрометер МК 50-1 ГОСТ 6507- 90 \

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
Перехід 10: Напівчистове точіння зовнішньої поверхні 16 з підрізкою торцяб	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 (лів.)Ріжуча пластина 01114- 16412 Т5К10 ГОСТ19046-80	Мікрометр МК 50-1 ГОСТ 6507- 90
Перехід 11: Напівчистове точіння зовнішньої поверхні 13 з підрізкою торця 7	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 (лів.) Ріжуча пластина 01114-16412 Т5К10 ГОСТ19046-80	Мікрометр МК 50-1 ГОСТ 6507- 90
Перехід 12: Чистове точіння зовнішньої поверхні 11 і 12 і канавки 19	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 Ріжуча пластина 01114-16412 Т15К6 ГОСТ19046-80	Мікрометр МК 50-1 ГОСТ 6507- 90 Шаблон спеціальний для перевірки розміру b=3, R05
Перехід 13: Чистове точіння зовнішньої поверхні 10 з обточуванням фаски 17 і канавки 20	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 Ріжуча пластина 01114-16412 Т15К6 ГОСТ19046-80	Мікрометр МК 50-1 ГОСТ 6507- 90 Фаскомір спец. Шаблон

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
Перехід 14: Чистове точіння зовнішньої поверхні 16 і канавки 21	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 (лів.) Ріжуча пластина 01114-16412 Т15К6 ГОСТ19046-80	Мікрометер МК 50-1 ГОСТ 6507- 90 Шаблон спец. для перевірки розміру b=3, R05
Перехід 15: Чистове точіння зовнішньої поверхні 13 з обточуванням фаски 18 і канавки 22	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 (лів.) Ріжуча пластина 01114-16412 Т15К6 ГОСТ19046-80	Мікрометер МК 50-1 ГОСТ 6507- 90 Фаскомір спец. Шаблон спец. для перевірки розміру b=3, R05
Перехід 16: Прорізання канавки 23	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець прорізний канавочний спеціальний Т15К6	Шаблон спеціаль-ний для перевірки розміру b=1,4, R0,1

2.2.4. Розрахунок режимів різання

Для розрахунку аналітичним методом, [12], приймаємо операцію 015 – Токарна з ЧПК (перехід 2, 12)

2-ий перехід - Чорнове точіння поверхні 15 витримуючи розмір $\phi 50h14_{(-0,74)}$, на довжину $l=241$.

Для обробки пов. 15 прийнятий різець прохідний упорний з механічним кріпленням пластини із твердого сплаву Т5К10, січення корпусу 25x25мм по ГОСТ 24996-81.

Геометричні параметри різця: ($\rho=45^\circ$; $R=1,0\text{мм}$; $\gamma=25^\circ$). Форма передньої поверхні - плоска. Період стійкості різця $T=T_{\text{табл.}} \cdot 1 = 60 \cdot 1 = 60\text{хв}$.

Заготовка із сталі Сталь 60 із $\delta_b=600\text{МПа}$, $\text{HRC}_e=20$ од. Глибина різання – $t=4\text{мм}$. Визначаємо подачу $S_{\text{табл.}}=0,8\text{мм/об}$. Визначаємо швидкість різання :

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v$$

Маємо значення коефіцієнтів $C_v=340$; $x=0,15$; $y=0,45$; $m=0,2$. Тоді

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi v} \quad K_v = 1,25 \cdot 0,9 \cdot 0,65 \cdot 0,7 = 0,51, \text{ а}$$

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 4^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,51 = 69\text{м/хв}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot 69}{3,14 \cdot 54} = 406,9\text{об/хв}$$

Коректуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстату 16К20Ф3. Тоді дійсне значення частоти обертання: $n_d=400\text{об/хв}$

Так само отримуємо дійсну швидкість головного руху різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = 68\text{м/хв}$$

Визначаємо основний (машиний) час на даний перехід:

$$T_o = \frac{245}{0,8 \cdot 400} = 0,76\text{хв}$$

Також проведемо перевірку по потужності різання, так як на даному переході ми проводимо чорнову обробку. Сумарна потужність різання на даному переході не повинна перевищувати потужності двигуна верстату із врахуванням його К.К.Д. більш ніж на 20%, тобто $N \leq 1,2 \cdot N_d \cdot \eta$.

Причому маємо, що P_z - тангенціальна сила різання, яка визначається за формулою :

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p$$

Для різця прохідного упорного значення коефіцієнтів C_p , K_p , та показників степенів : $C_p = 300$; $x=1,0$; $y=0,75$; $n=-0,15$.

Значення поправочних коефіцієнтів визначаємо так:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{фр} \cdot K_{γр} \cdot K_{λр} \cdot K_{гр}$$

Відповідно маємо- поправочний коефіцієнт

$$K_p = 0,84 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,69$$

Отже, тангенціальна сила різання:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 4^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 68^{-0,15} \cdot 0,69 = 3686,2H$$

Тоді потужність різання складе

$$N_{риз.} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}$$

$$N_{риз.} = \frac{3686,2 \cdot 68}{1020 \cdot 60} = 4,09кВт$$

Потужність двигуна верстату 16К20Ф3 - 11кВт і К.К.Д. верстату - 0,8,

відповідно $4,09 \leq 11 \cdot 0,8 = 8,8кВт$. Тому потужність приводу верстату

достатня для виконання 2-го переходу на розрахованих режимах різання.

Відповідно до табличних розрахунків, [13], режими різання для всіх операцій зводимо у сумарну таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. Режими різання для всіх операцій

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _м , хв	S _о , мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _{хв} , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Розрізна										
1.Відрізання заготовки в розмір $l = 245_{-1,15}$	54	1	-	-	-	80	15	50	0,6	2

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
010 Фрезерно-центрувальна										
1.Фрезерування торців в розмір $l = 241_{-0,74}$	4	62	1	240	$Sz=0,24$	200	89,5	48	1,29	10,1
2.Центрувати отвір 8 і 9 витримавши розмір $\varnothing A6,5$.	3,25	28	1	-	0,12	800	15	-	0,29	0,41
015 Токарна з ЧПК										
2. Точити зовнішню поверхню 15, витримуючи розмір $\varnothing 50h14_{(-0,74)}$, на довжину $l=241$;	4	245	1	60	0,8	400	68	-	0,76	4,09
3. Точити зовнішню поверхню 14 з підрізкою торця 5, витримуючи розмір $\varnothing 42h14_{(-0,62)}$, на довжину $l=170,5_{(-0,87)}$;	4	174,5	2	60	0,8	400	68	-	1,09	4,09
4. Точити зовнішню поверхню 11 і поверхню 12 в розмір $\varnothing 35,9h14_{(-0,62)}$ із підрізкою торця 4 в розмір $l=85_{(-0,62)}$;	3	89	2	60	0,8	500	78	-	0,44	3,48
5. Точити зовнішню поверхню 10 із підрізкою торця 3, витримуючи розміри $\varnothing 33,09h14_{(-0,62)}$, $l=46_{(-0,62)}$;	3	50	1	60	0,8	500	78	-	0,12	3,48

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6.Точити зовнішню поверхню 16 із підрізкою торця 6, витримуючи розміри $\phi 40,9h14_{(-0,62)}$, $l=65,5_{(-0,62)}$;	4,5	69,5	2	60	0,8	400	62	-	0,43	4,29
7.Точити зовнішню поверхню 13 із підрізкою торця 7, витримуючи розміри $\phi 35,9h14_{(-0,62)}$, $l=25,5_{(-0,52)}$;	5	28,5	1	60	0,8	500	64	-	0,07	4,87
8.Точити зовнішню поверхню 11 і поверхню 12 в розмір $\phi 35,45h11_{(-0,16)}$ із підрізкою торця 4 в розмір $l=40_{(-0,62)}$.	0,45	44	1	60	0,4	1200	135	-	0,09	0,48
9.Точити зовнішню поверхню 10 із підрізкою торця 3, витримуючи розміри $\phi 32,33h11_{(-0,16)}$, $l=47_{(-0,62)}$	0,76	50	1	60	0,4	1000	103	-	0,11	0,75
10.Точити зовнішню поверхню 16 із підрізкою торця 6, витримуючи розміри $\phi 40,45h11_{(-0,16)}$, $l=40_{(-0,62)}$	0,45	44	1	60	0,4	1200	154	-	0,09	0,49
11.Точити зовнішню поверхню 13 із підрізкою торця 7, витримуючи розміри $\phi 35,45h11_{(-0,16)}$, $l=26,5_{(-0,62)}$.	0,45	29,5	1	60	0,4	1200	135	-	0,06	0,48

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12.Точити зовнішню поверхню 11 і поверхню 12 і канавку 19 в розмір $\varnothing 35,15h8_{(-0,039)}$ b=3мм.	0,3	43	1	60	0,07	2500	278	-	0,30	0,16
13.Точити зовнішню поверхню 10 з фаскою 17 і канавку 20, витримуючи розміри $\varnothing 32,106h8_{(-0,039)}$, 1×45, b=3мм.	0,22	49	1	60	0,07	2500	297	-	0,38	0,15
14.Точити зовнішню поверхню 16 і канавку 21 ,витримуючи розміри $\varnothing 40,15h8_{(-0,039)}$, b=3мм.	0,3	43	1	60	0,07	2500	252	-	0,20	0,17
15.Точити зовнішню поверхню 13 з фаскою 18 і канавку 22, витримуючи розміри $\varnothing 35,15h8_{(-0,039)}$, 1×45, b=3мм.	0,3	29,5	1	60	0,07	2500	278		0,20	0,15
16.Проточити канавку 23 витримуючи розміри $\varnothing 30,2h14_{(-0,62)}$, b=1,4 мм.	1,4	3	1	60	0,1	200	184		0,08	0,3
020 Шпонко-фрезерна										
2.Фрезерувати шпонковий паз 24 витримуючи розміри b=10P9, h=5 ^{+0,2} , l=43мм	0,3	-	- 1	120	0,5	1400	165	20	3,5	0,32

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
025 Кругло-шліфувальна										
2. Шліфувати поверхню 10 витримуючи розмір $\varnothing 32n6^{(+0,033}_{+0,017)}$;	0,15	44	-	-	0,0025	пкр.=11 20 пдет.=20 0	$V_{к.}=30$ м/с $V_{д.}=20$ м/с		0,21	0,18
2. Шліфувати поверхню 11 і 12 витримуючи розмір $\varnothing 35js6^{(+0,008}_{-0,008)}$;	0,15	36	-	-	0,0025	пкр.=11 20 пдет.=20 0	$V_{к.}=30$ м/с $V_{д.}=20$ м/с		0,23	0,19
3. Шліфувати поверхню 13 витримуючи розмір $\varnothing 35js6^{(+0,008}_{-0,008)}$;	0,15	23,5	-	-	0,0025	пкр.=11 20 пдет.=20 0	- $V_{к.}=30$ м/с $V_{д.}=20$ м/с		0,23	0,19
4. Шліфувати поверхню 16 витримуючи розмір $\varnothing 40h8_{(-0,039)}$	0,15	36	-	-	0,0025	пкр.=11 20 пдет.=20 0	$V_{к.}=30$ м/с $V_{д.}=20$ м/с -		0,26	0,2
030 Полірувальна										
5 Полірувати поверхню 11, витримуючи розмір $35d9^{(+0,08}_{-0,142)}$ і шорсткість Ra 0,2	0,1	20	-	-	0,0025	пкр.=11 20 пдет.=40 0	$V_{к.}=25$ м/с $V_{д.}=20$ м/с		0,2	0,1

Зазначені величини елементів режимів різання будуть використані при проектуванні головного приводу верстату.

2.3 Розробка структурної-кінематичної та кінематичної схем токарного верстату.

2.3.1. Формоутворювальні рухи на верстаті

Для проектування приводу головного руху перш за все відповідно до [6], зазвичай основні рухи формоутворення, що застосовуються на токарно-патронному верстаті. Ці рухи наведені на рис. 2.2.

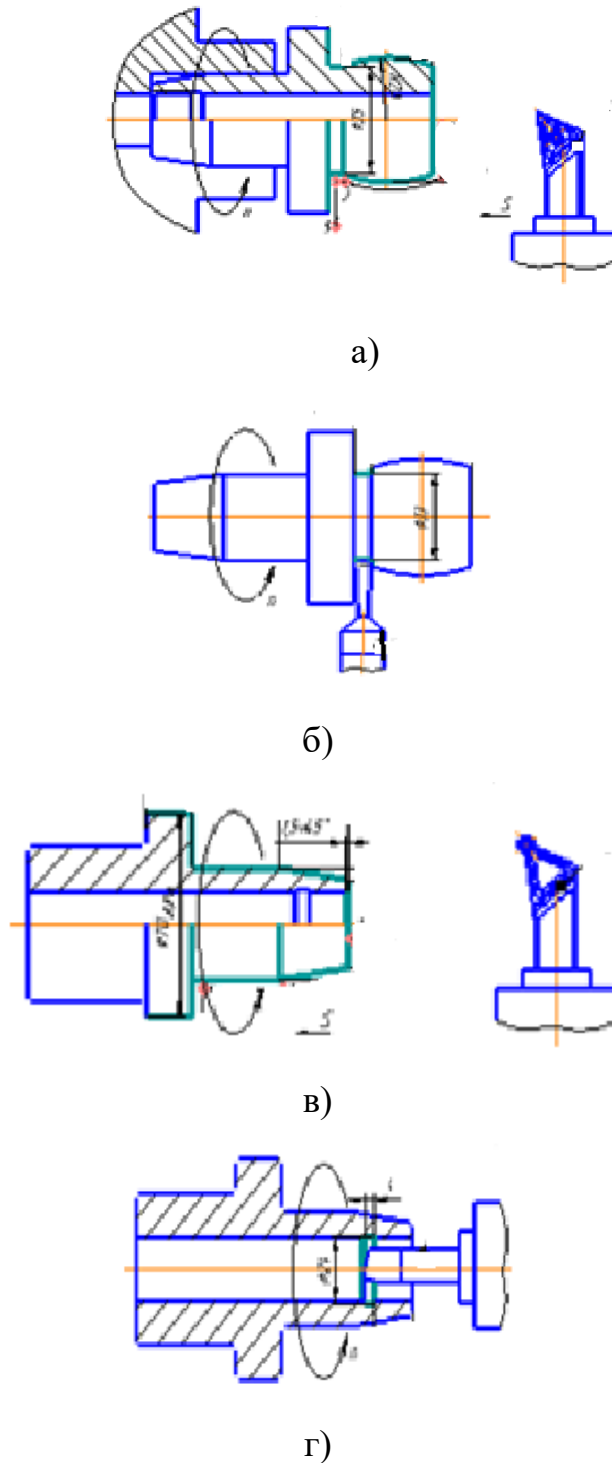


Рис. 2.2. Рухи формоутворення при обробці: а) зовнішньої поверхні; б) канавки; в) конічної і торцевої поверхні; д) внутрішньої поверхні
Вказані формоутворюючі рухи можна відобразити відповідними формулами формоутворення, [6].

Так для здійснення поздовжньої токарної обробки маємо такий комплекс формоутворюючих рухів: $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_{s1}(P_2)$, $Уст(P_3)$. Для здійснення обробки канавки маємо: $\Phi_v(O_1)$, $Вр(P_3)$, $Уст(P_2)$. Для торцевої обробки характерна формула: $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_{s2}(P_3)$, $Уст(P_2)$. Токарна обробка конічних поверхонь характеризується формулою: $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_{s3}(P_5)$, $Уст(P_2)$, $Уст(P_3)$,

Уст(O_4). На розглядуваному варіанті верстату можливе також свердління, тобто використання інструменту осьового типу: $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_{s4}(П_6)$, Уст($П_3$), Уст($П_{10}$).

В даних формулах буква Φ означає формоутворення. Якщо воно стосується головного руху, то присутній індекс v . Якщо формоутворення стосується подачі, то маємо індекс s . Буквосполучення Уст показує, що рух є установочним, а $Вр$ характеризує врізання. Окрім того, слід зауважити, що O – обертовий рух, а $П$ – поступальний рух.

Таким чином, відзначені характеристики дозволяють приступити до побудови структурно-кінематичної схеми, [6].

2.3.2. Розробка структурно-кінематичної схеми

Розроблена нами структурно-кінематична схема верстату наведена на рис. 2.3.

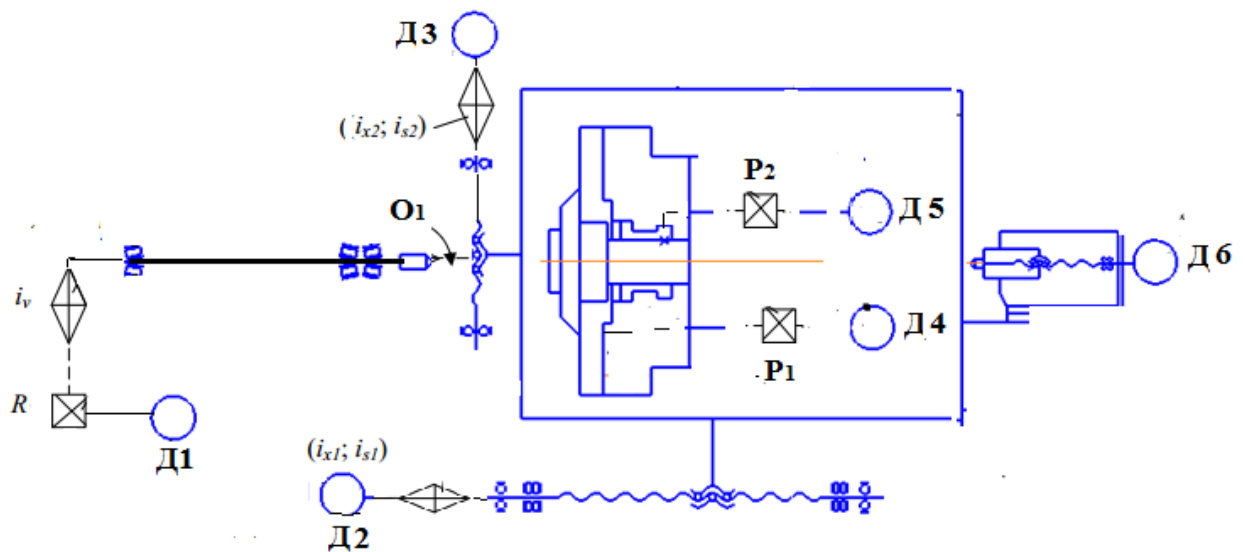


Рис. 2.3. Структурно-кінематична схема розробленого верстату

На даній схемі позначено головний рух різання – обертовий рух шпинделя верстату O_1 . Він здійснюється від двигуна D_1 приводу головного руху через орган настройки i_v . Присутній також реверс R .

Поздовжня і поперечна подачі здійснюються відповідними двигунами D_2 і D_3 . Рух передається на гвинтові передачі.

Двигуни D_4 і D_5 керують револьверною головкою. Рух пінолі задньої бабки здійснюється двигуном D_6 .

Таким чином ми можемо підійти до розробки кінематичної схеми.

2.3.3. Кінематичний розрахунок

Основою кінематичного розрахунку приводу головного руху є знаходження діапазону регулювання обертових швидкостей шпинделя верстату, [14].

На основі обробки даних щодо технологічних операцій токарної обробки нами зібрані статистичні дані про частоти обертання на шпинделі верстату. Аналіз цих даних наведено на гістограмі рис. 2.4.

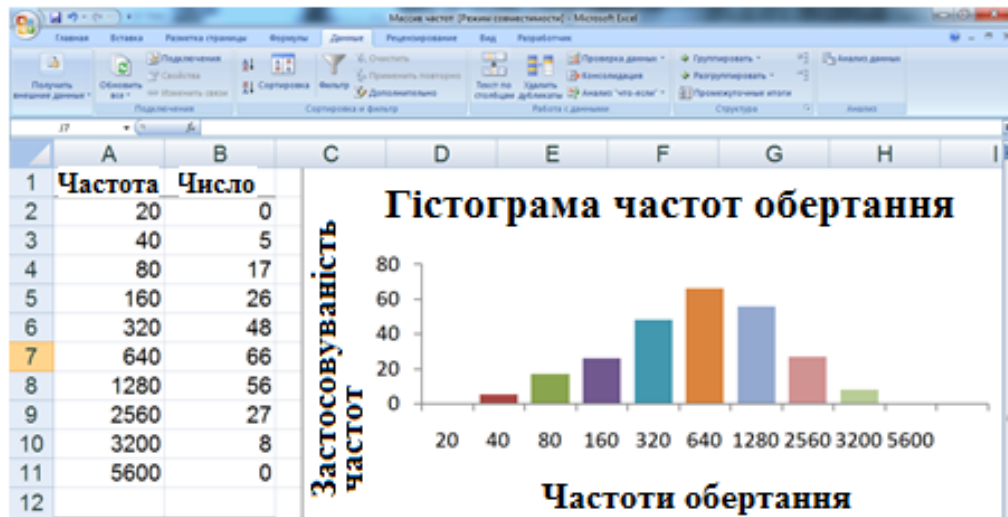


Рис. 2.4. Гістограма частот обертання шпинделя, об/хв.

Аналізуючи дану гістограму видно, що можливим є прийняти діапазон регулювання приводу головного руху в таких межах:

$$30 \leq n \leq 3000,$$

тобто $n_{\min}=30$ об/хв , а $n_{\max}=3000$ об/хв.

Аналогічним чином розглядаємо ефективні потужності на шпинделі верстату, що допоможе нам у виборі приводу головного руху.

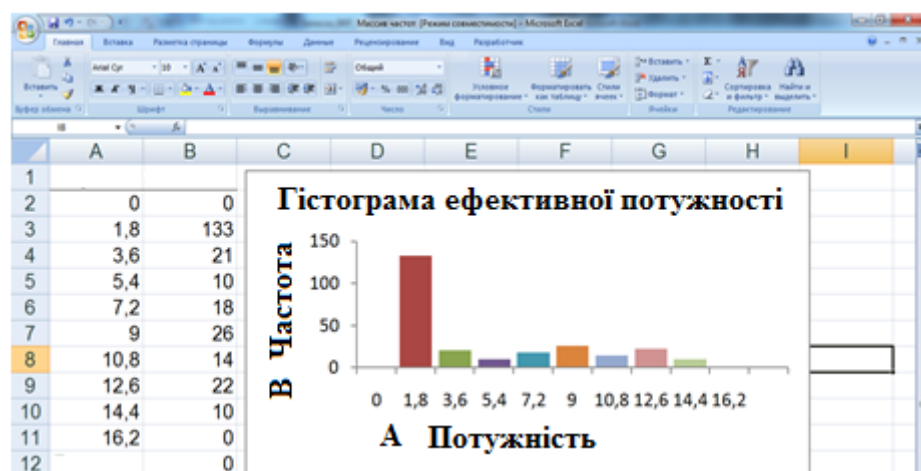


Рис. 2.5. Гістограма ефективних потужностей на шпинделі

Встановлюємо, що силова характеристика приводу головного руху модернізованого токарного верстату повинна набути значення ефективної потужності на шпинделі у $N_{\text{еф max}}=14$ кВт.

В якості джерела головного руху нами вибраний електропривід постійного струму MDC-2. Електроприводи типу MDC-2 якраз призначені для головного руху металорізальних верстатів з ЧПК.

Таким чином, відповідно до [14] розробляємо кінематичну схему модернізованого верстату, яка наведена на рис. 2.6.

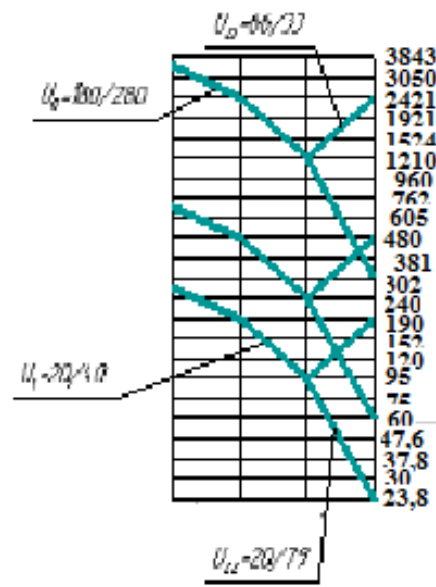


Рис. 2.6. Графік чисел обертів приводу головного руху

Таким чином, можемо оформити у закінченому вигляді рисунок кінематичної схеми розроблюваного токарно-центрового патронного верстату із безступеневим регулюванням на основі вибраного джерела руху (рис. 2.7).

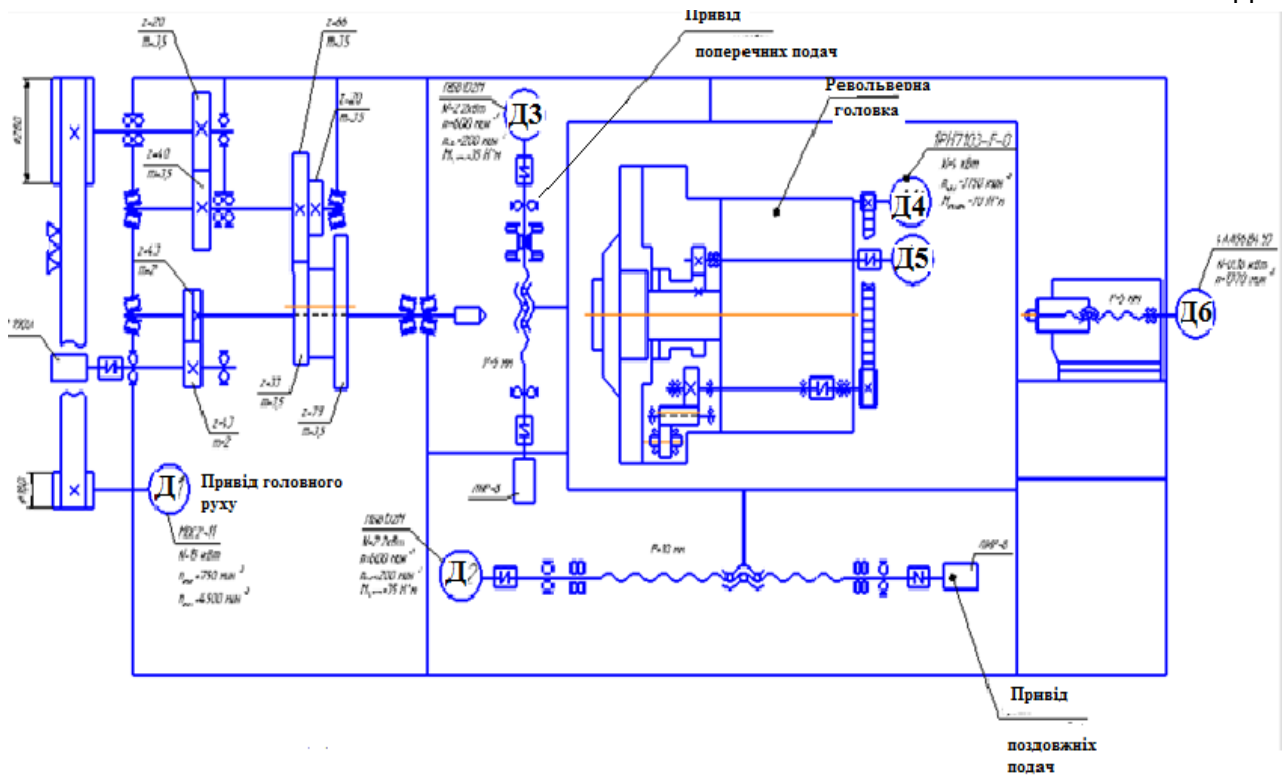


Рис. 2.7. Кінематична схема розробленого токарного патронно цетрового верстату

Привід головного руху передбачає передачу руху від двигуна Д1 постійного струму MDC-2 через плоско пасову передачу, зубчасту передачу 35/35 і механізм із пересувним блоком на шпиндель.

Поздовжня і поперечна подачі здійснюються за допомогою ходових гвинтів від крокових електродвигунів Д2 і Д3.

Різцетримач міститься на револьверній голоівці, управління рухами у якій здійснюється за допомогою двигунів Д4 і Д5.

Двигун Д6 призначений для переміщення пінолі задньої бабки токарного верстату.

Компоновку верстату приймаємо, [16, 17], ідентичною до компоновочного рішення патронно цетрового верстату 16К20Ф3.

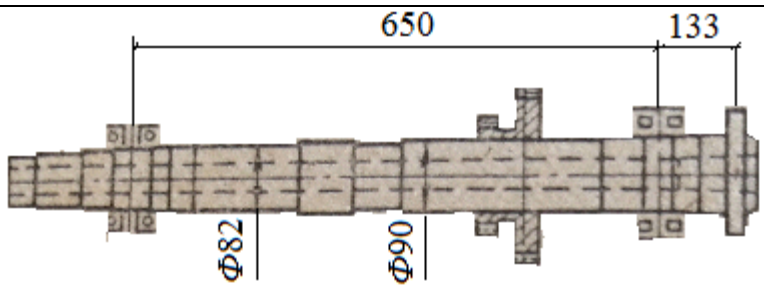
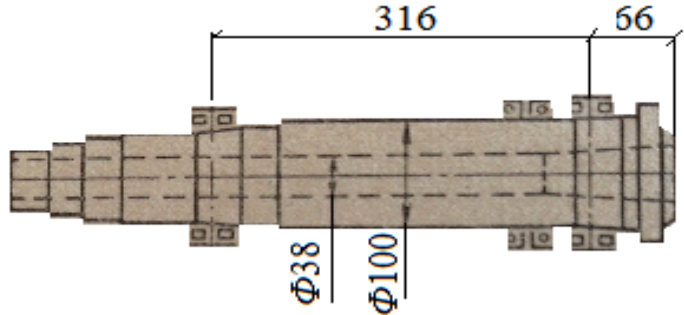
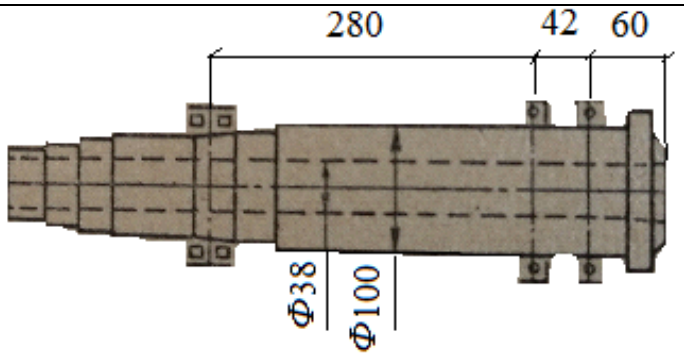
2.4. Конструювання шпиндельного вузла верстату

Для конструювання шпиндельного вузла, [15], розглянемо приклади розрахунку токарних верстатів із різними варіантами виконання шпинделів, [9]. Такі розрахунки необхідно проводити на стадії ескізного проектування, [18].

Важливо було розрахувати шпинделі на підшипниках кочення – двохопорних і триопорних. В якості опор кочення були використані радіально-упорні, дворядні циліндро-роликові, конічні роликові та інші.

В табл. 2.5 згруповані результати розрахунків щодо конструкції з найбільшим діаметром оброблюваної деталі у 400 мм, що якраз і відповідає характеристиці пропонованого токарного верстату.

Таблиця 2.5. Вплив конструктивних схем шпиндельних вузлів на жорсткість і динамічну стійкість

Ескіз шпиндельного вузла	Жорсткість, %	Динамічна стійкість, %
	100	100
	158	213
	122	138

Розрахунки на динамічність таких шпинделів, а саме такі, що пов'язані із оцінкою впливів на стійкість і коливання, доцільно проводити для розрахункових схем, коли вплив інших вузлів верстату на такі характеристики є невеликим, [18]. Для розроблюваного токарного верстата

до таких схем можна віднести обробку коротких деталей в патроні або обробку в центрах, коли різець розміщений поблизу переднього центра.

Із аналізу результатів розрахунків видно, що при зменшенні міжопорної відстані жорсткість і стійкість верстату підвищується незалежно від конструкції опор. Зменшення консолі також незалежно від конструктивного виконання опор збільшує жорсткість і стійкість верстату. Найкращою виявляється для конструкції патронного верстату передня опора з дворядними циліндро – роликівими підшипниками.

Тому таку опору ми беремо за основу при конструюванні шпиндельно вузла (рис. 2.8).

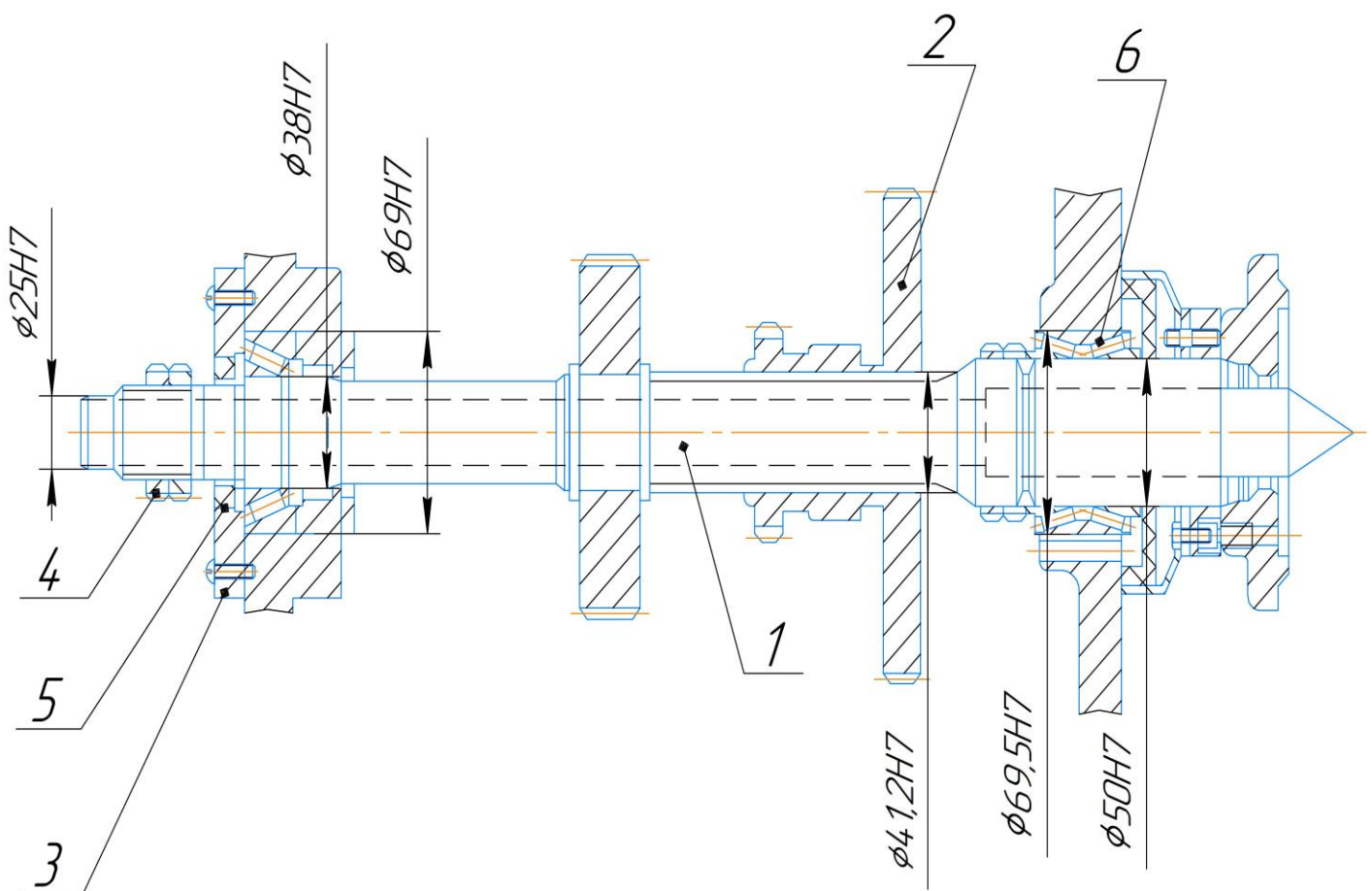


Рис. 2. 8. Конструктивне виконання шпиндельного вузла розробленого патронного токарно центрового верстата

Переключення швидкостей руху шпинделя 1 здійснюється за допомогою зубчастого блоку 2. Шпиндель 1 несучі дві опори передня 6 і задня. У якості задньої опори прийнятий радіально-упорний підшипник 5, який фіксується кришкою 3 і гайками 4.

Висновки по розділу 2

Відповідно до результатів, досягнутих у розділі 2 даної кваліфікаційної роботи можна зробити такі висновки:

- 1) Для розробленого технологічного процесу обробки деталі «вал» спроектована технологічна операція токарної обробки, яка дозволила отримати основні технологічні параметри швидкостей різання, подач і силових залежностей, які є основою для подальшого проектування приводу головного руху верстату.
- 2) В якості базового верстату для розробки прийнята модель 16К20Ф3.
- 3) Після аналізу рухів формоутворення, характерних для різновидів механічної обробки спроектована структурно-кінематична схема верстату із зазначенням основних виконавчих та установочних рухів.
- 4) В результаті вивчення гістограм частот обертання і ефективної потужності розроблений графік чисел обертів головного приводу та представлена кінематична схема верстату.
- 5) На основі багатоваріантного аналізу конструктивних виконань шпindelних вузлів токарних верстатів з точки зору їх жорсткісних характеристик і характеристик динамічної стійкості обрані конструкції шпindelних опор верстату і сконструйовано шпindelний вузол.

3. НАУКОВО – ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Методика досліджень наукового характеру та порядок їх проведення

Метою розрахунку динамічної стійкості (або ж інакше вібраційної усталеності) процесу точіння є порівняльна оцінка параметрів і елементів режиму обробки, [19] і вибір оптимальних значен, [20,21].

Методика досліджень вібраційної усталеності передбачає відповідний динамічний розрахунок.

Цей динамічний розрахунок зводиться до побудови амплітудно – фазових частотних характеристик (АФЧХ) розімкнутої системи по передатній функції [2,3,5,6]. Аналіз амплітудно – фазових частотних характеристик розімкнутої системи дає показники динамічної якості процесу різання. В даному випадку показник динамічної якості протікання процесу визначається по величині відрізка R^e , який відсікає дана характеристика на від’ємній осі Re.

Динамічна характеристика різання в операторній формі має вигляд [3]:

$$P_{a\alpha\gamma} = \frac{K_p \cdot (1 + T_{\alpha\gamma} \cdot P + T_{\alpha p}^2 \cdot p^2)}{1 + T_p \cdot p} \cdot y \quad (3.1)$$

де - y – відносне зміщення деталі і різця в нормальному до поверхні напрямі;

K_p - коефіцієнт різання, який визначатимемо з виразу :

$$K_p = \kappa \cdot \sigma \quad (3.2)$$

κ – питома сила різання, $кг / мм^2$;

σ - ширина зрізу в мм;

T_p - постійна величина часу стружкоутворення.

Постійні часу стружкоутворення обчислюється за формулою [18]

$$T_p = \frac{m}{n} \cdot \frac{a \cdot \vartheta}{v} \quad (3.3)$$

$\frac{m}{n}$ - коефіцієнт, що враховує зміну товщини стружки, довжини контакту

стружки із передньою поверхнею різця і усадки стружки,

$$\frac{m}{n} = 1 \dots 1,5;$$

g - середнє значення усадки стружки;

a - середня товщина зрізу в мм;

v - швидкість різання мм/сек;

$T_{\alpha\gamma}, T_{\alpha p}$ - постійні величини часу, які впливають із виразів:

$$T_{\alpha\gamma} = T_{\alpha} - T_{\gamma} \quad (3.4)$$

$$T_{\alpha p} = \sqrt{T_{\alpha} \cdot T_p} \quad (3.5)$$

T_{α} - постійна величина часу заднього кута;

T_{γ} - постійна величина часу переднього кута:

$$T_{\gamma} = \frac{K_{\gamma} \cdot \alpha}{V \cdot g} \quad (3.6)$$

$$T_{\alpha} = \frac{h^2 \cdot H_{\alpha}}{2 \cdot V \cdot k} \quad (3.7)$$

K_{γ} - коефіцієнт, представлений у вигляді відношення приросту усадки стружки до приросту переднього кута при незначній зміні швидкості різання;

h - висота фаски на задній поверхні різця, мм;

H_{α} - контактна жорсткість в $\text{кг} / \text{мм}^3$, яка отримується при лінеаризації в межах відхилень залежності питомого тиску від контактної деформації, значення H_{α} - залежить від вихідного тиску, форми площадки і твердості оброблюваного матеріалу, із збільшенням твердості H_{α} збільшується;

$P = \frac{d}{d \cdot t}$ - операторний символ диференціювання.

Динамічна характеристика різання представлена в залежності від однієї координати Y . Вплив іншої координати Z враховується коефіцієнтом K_{zy} .

В загальному випадку K_{zy} є комплексною величиною тобто між Y і Z є фазове зміщення і складення цих зміщень дає еліптичну траєкторію руху. В найпростішому випадку, зміна кутів різця в відхиленнях має вигляд :

$$\alpha = -\gamma = \frac{1}{V} \cdot \left(1 - \frac{S_m}{V} \cdot K_{zy} \right) \cdot \frac{dy}{dz} \quad (3.8)$$

Тоді постійні значення часу, які входять в вираз (3.1) :

$$T_{\alpha z} = \frac{h^2 \cdot H_{\alpha}}{2 \cdot V \cdot k} \cdot \left(1 + \frac{S_m}{V} \cdot K_{zy} \right) \quad (3.9)$$

$$T_{\gamma z} = \frac{K_{\gamma} \cdot \alpha}{V \cdot g} \cdot \left(1 + \frac{S_m}{V} \cdot K_{zy} \right) \quad (3.10)$$

$$T_{\alpha \gamma z} = \frac{1}{\gamma} \cdot \left(\frac{h^2 \cdot H_{\alpha}}{2 \cdot K} - \frac{K_{\gamma} \cdot \alpha}{g} \right) \cdot \left(1 + \frac{S_m}{V} \cdot K_{zy} \right) \quad (3.11)$$

В залежності від знаку K_{zy} при певних співвідношеннях інших параметрів можуть змінюватися знаки постійних величин часу, але вид виразу (3.1) не зміниться.

3.2. Розробка моделі розрахунку амплітудних характеристик процесу поздовжнього точіння деталі вал із сталі 60

У аналітичному розділі 1 показано, що передатна функція процесу різання при поздовжньому точіння можна зобразити як

$$W(p) = \frac{m_z}{p} (1 - e^{-p\tau}) \quad (3.12)$$

Це досить спрощений вираз, який дозволяє проте досить успішно визначити основні характеристик процесу токарної обробки в її динаміці.

Необхідно у формулі (3.12) замінити символ диференціювання p на $i\omega$. Також скористаємось формулою Ейлера:

$$e^{iz} = \cos z + i \sin z.$$

Тоді можна представити передатну функцію (3.12) у частотному вигляді

$$W(i\omega) = \operatorname{Re}(\omega) + i\operatorname{Im}(\omega),$$

причому матимемо:

$$\operatorname{Re}(\omega) = \frac{m_z \sin \omega\tau}{\omega}, \quad \operatorname{Im}(\omega) = \frac{m_z (\cos \omega\tau - 1)}{\omega}.$$

Представимо також модель амплітудно-частотної характеристики

$$A(\omega) = \frac{m_z \sqrt{(\sin \omega\tau)^2 - (\cos \omega\tau - 1)^2}}{\omega}. \quad (3.13)$$

Модель фазо-частотної характеристики процесу можна представити так

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\cos(\omega\tau - 1)}{\sin \omega\tau}.$$

Наведені моделі дуже зручно використати для обчислень і аобудови графіків наведених частотних характеристик.

Для визначення конкретних значень вказаних характеристик скористаємось такими даними:

- точіння вала – поздовжнє;
- матеріал заготовки – сталь 60;
- прохідний різець оснащений твердоспавною пластинкою із сплаву Т15К6;
- головний кут в плані різця $\varphi=90^0$;
- кількість обертів шпинделя $n_{\text{шп}}=630 \text{ с}^{-1}$;
- швидкість подачі $v_s=2,62 \text{ мм/с}$;
- швидкість різання $v=150 \text{ м/хв.}$;
- ширина зрізаного шару $b=1 \text{ мм}$;

- статичне значення тангенціальної складової сили різання $P_{z0}=600\text{Н}$;
- час запізнення $\tau=0,105\text{ с}$;
- величина $\lambda=0,09$ (тому використовуємо формулу (3.12));
- величина $m_z=0,9$.

Ці вхідні дані є підставою для розрахунку амплітудно-частотної і фазо-частотної характеристик процесу поздовжнього точіння подібно до методики представленої в [22].

Нижче представлена розроблена нами коротка програма в середовищі MathCAD, [23], для розрахунку амплітудно-частотних характеристик процесу поздовжнього точіння, а також відповідні графічні залежності дійсної, уявної частин характеристики та графічну картину амплітудно-частотної характеристики, розраховані відповідно представленої програми.

Mathcad Professional - [розрахунок амплітудно-част хар-ик]

Файл Правка Вид Вставка Формат Математика Символи Окно ?

Normal Arial 10 B I U

Rozrahunok amplitudno chastotnyh harakterystyk
dlia pozdovzhnogo tochinna

Vhidni dani

$Mz := 0.9$

$T := 0.105$

$w := 0.1, 0.2.. 1000$

$$Re(w) := Mz \cdot \frac{\sin(w \cdot T)}{w} \quad Jm(w) := Mz \cdot \frac{(\cos(w \cdot T) - 1)}{w}$$

$$A(w) := Mz \cdot \frac{\sqrt{(\sin(w \cdot T))^2 + (\cos(w \cdot T) - 1)^2}}{w}$$

Рис. 3.1. Текст програми розрахунку АЧХ процесу позовжнього точіння

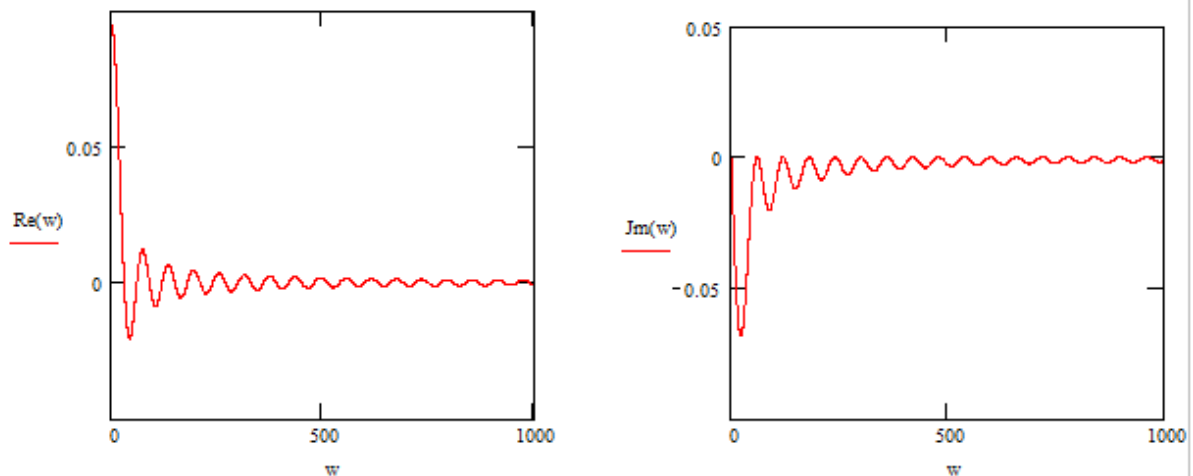


Рис. 3.2. Графіки залежностей дійсної та уявної складових характеристики позовжнього точіння

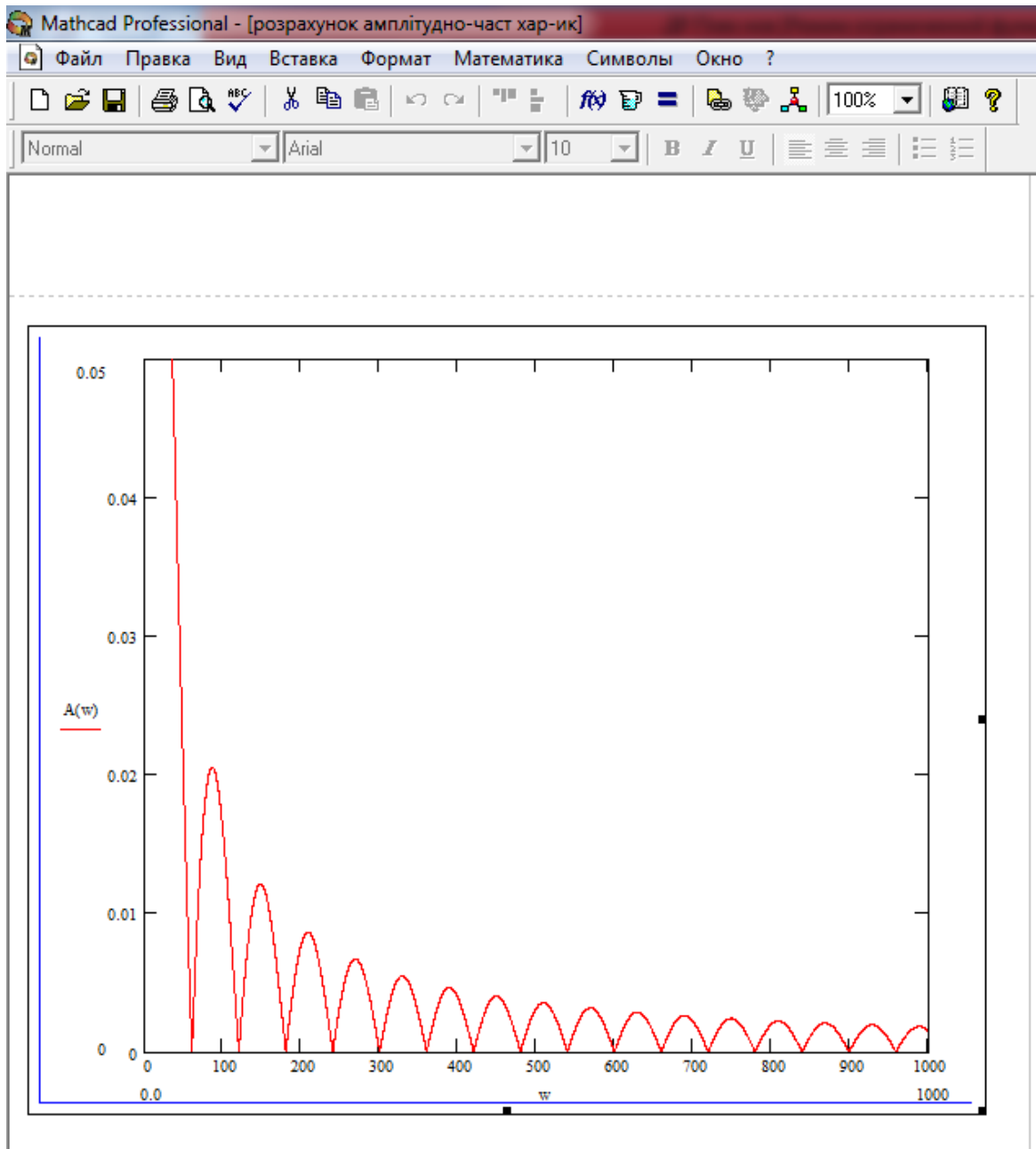


Рис. 3.3. Графік поведінки амплітудно-частотної характеристики процесу поздовжнього точіння (по осі абсцис – зміна частоти системи, в одиницях с^{-1})

В аналогічному плані проведено дослідження фазово-частотних характеристик поздовжнього точіння.

Нижче наведено програму розрахунку і графік фазово-частотної характеристики.

Mathcad Professional - [розрахунок фазово-част хар-ик]

Файл Правка Вид Вставка Формат Математика Символы Окно ?

Variables Times New Roman 10 B I U

Rozrahunok fazovo- chastotnyh harakterystyk
dlia pozdovzhnogo tochinna

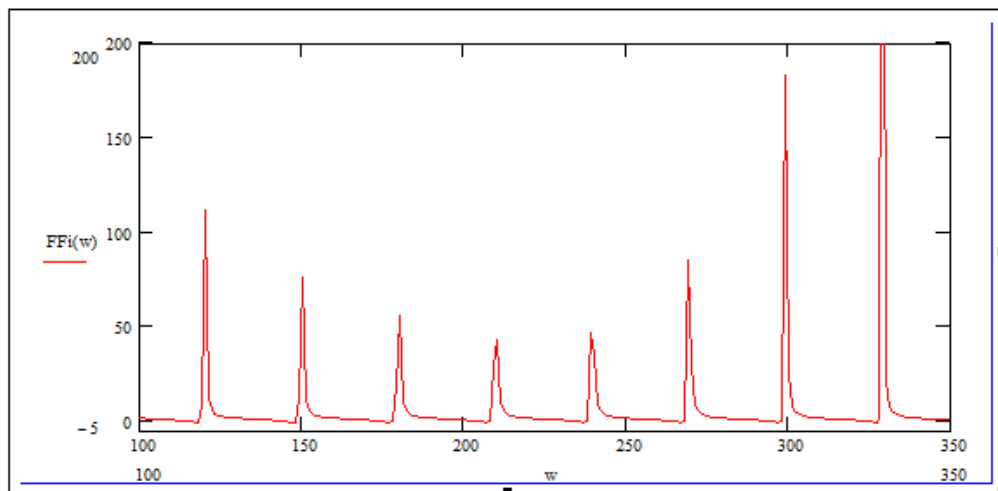
Vhidni dani
Mz := 0.9 T := 0.105

w := 1,2.. 1000

$$\text{Re}(w) := Mz \cdot \frac{\sin(w \cdot T)}{w} \quad \text{Im}(w) := Mz \cdot \frac{(\cos(w \cdot T) - 1)}{w}$$

$$\text{R}(w) := \frac{\cos(w \cdot T) - 1}{\sin(w \cdot T)} \quad \text{FFi}(w) := \text{R}(w) + \frac{(\text{R}(w))^2}{3}$$

a)



б)

Рис. 3.4. Програма і приклад графічного зображення фазово-частотної характеристики поздовжнього точіння

3.3. Зміст наукових досліджень з використанням елементів CAD, CAM, CAE систем

В даному випадку динамічну систему зручно представити складеною з пружної системи і процесу різання в їх взаємодії.

Динамічна система, яка складається з коливальних (пружна система) і аперіодичних (процес різання) ланок, в залежності від параметрів системи може бути стійкою і нестійкою [2,3,5,24]. Стійкою рахується система,

відхилення якої від даного стану в перехідному процесі, який викликаний обмеженням по величині дією, з часом зменшується. Якщо це відхилення збільшується, чи стабілізується, тоді система рахується нестійкою. При періодичній нестійкості виникають автоколивання.

Аналіз динамічної стійкості таких систем найбільш комфортно проводити по амплітудно – фазовій частотній характеристиці системи, використовуючи амплітудно – фазовий критерій стійкості Найквіста-Михайлова. Для цього потрібно побудувати амплітудно – фазову частотну характеристику розімкнутої системи.

Амплітудно – фазова частотна характеристика легко визначається розрахунковим шляхом через передатну функцію динамічної системи. Передатна функція динамічної системи при послідовному з'єднання ланок рівна проведенню передатних функцій ланок. Амплітудно – фазові частотні характеристики ланок системи будуються в комплексній площині по передатній функції ланки таким самим шляхом, як і характеристика динамічної системи.

Динамічна характеристика різання в частотній формі має вигляд :

$$W_p = \frac{P_{axy}}{y} = W_p^1 \cdot W_{\alpha\gamma z} \quad (3.14)$$

$$W_p^1 = \frac{K_p}{1 + T_p^2 \cdot w^2} + i \cdot \frac{K_p \cdot T_p \cdot w}{1 + T_p^2 \cdot w^2} \quad (3.15)$$

$$W_{\alpha\gamma z} = 1 - T_{\alpha p z}^2 \cdot w^2 + i \cdot T_{\alpha\gamma z} \cdot w \quad (3.16)$$

w - кругова частота 1/сек;

i - уявна одиниця;

Вираз (3.14) показує, що сила різання відстає по фазі від зміни товщини зрізаного шару, тобто сила різання виконує роботу, яка йде на пробудження коливань.

Передатна функція пружної системи з однією степеню вільності в частотній формі має вигляд :

$$W_{yc} = \frac{K_{yc}}{1 - T_1^2 \cdot w^2 + i \cdot T_2 \cdot w} \quad (3.17)$$

де : K_{yc} - піддатливість пружної системи, кГ, $K_{yc} = \frac{1}{c}$;

c – жорсткість системи, кГ;

T_1 - інерційна постійна часу;

$$T_1 = \sqrt{\frac{m}{c}} = \frac{1}{w_c} \quad (3.18)$$

m - приведенна маса $\frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{мм}}$

w_c - власна кругова частота коливань 1/сек,

$w_c = 2\pi \cdot f_c$;

f_c - власна частота коливань в Гц;

T_2 - постійна часу демпфування;

$$T_2 = \frac{\eta}{c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot T_1 \quad (3.19)$$

η - коефіцієнт демпфування, $\frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}}{\text{мм}}$;

λ - логарифмічний декремент затухання, який визначається по циклограмах вільних затухаючих коливань.

Передаточна функція розімкнутої системи при послідовному з'єднанню елементів має вигляд :

$$W_{раз} = W_p \cdot W_{yc} \quad (3.20)$$

Вплив швидкості різання і зносу різця на стійкість процесу.

Вихідні дані :

$$V_1 = 20 \text{ м / хв}; \quad V_2 = 32 \text{ м / хв}; \quad V_3 = 50 \text{ м / хв}; \quad V_4 = 62 \text{ м / хв};$$

$$V_5 = 81 \text{ м / хв};$$

При : $D = 40 \text{ мм};$

$$\eta_1 = 162 \text{ об / хв}; \quad \eta_2 = 260 \text{ об / хв};$$

$$\eta_3 = 405 \text{ об / хв};$$

$$\eta_4 = 495 \text{ об / хв}; \quad \eta_5 = 650 \text{ об / хв};$$

$$S = 0,8 \text{ мм}; \quad t = 4 \text{ мм}; \quad \gamma = 0^\circ; \quad \alpha = 8^\circ;$$

$$\varphi = 0^\circ; \quad \varphi_1 = 45^\circ; \quad z = 1 \text{ мм}; \quad a = 0,3 \text{ мм}; \quad \vartheta = 1,4;$$

$$K = 200 \text{ кгГ / мм}^2; \quad K_p = 800 \text{ кгГ / мм}; \quad H_\alpha = 600 \text{ кгГ / мм}^3;$$

$$\frac{m}{n} = 1; \quad K_\gamma = 4,0; \quad K_{\text{зв}} = -10^3;$$

$$h_1 = 0,10 \text{ мм}; \quad h_2 = 0,30 \text{ мм}; \quad h_3 = 0,60 \text{ мм}; \quad h_4 = 0,90 \text{ мм};$$

$$h_5 = 1,2 \text{ мм}; \quad h_6 = 2,0 \text{ мм}; \quad f = 1000 \text{ гу}; \quad w = 12550,1 / \text{сек};$$

$$\lambda = 0,05; \quad C = 1700 \text{ кгГ / мм}; \quad K_{\text{yc}} = 0,6 \cdot 10^{-3};$$

Постійна часу стружкоформування згідно (3.3) :

$$T_{p1} = 1 \cdot \frac{0,3 \cdot 1,4 \cdot 60}{20 \cdot 10^3} = \frac{25,2}{20 \cdot 10^3}; \quad T_{p2} = \frac{25,2}{32 \cdot 10^3}; \quad T_{p3} = \frac{25,2}{50 \cdot 10^3};$$

$$T_{p4} = \frac{25,2}{62 \cdot 10^3}; \quad T_{p5} = \frac{25,2}{81 \cdot 10^3};$$

Характеристика W'_p на вираз (13) буде :

$$W'_{p1} = \frac{800}{1 + \left(\frac{25,2}{20 \cdot 10^3}\right)^3 \cdot 12560^2} - i; \quad \frac{800 \cdot \frac{25,2}{20 \cdot 10^3} \cdot 12560}{1 + \left(\frac{25,2}{20 \cdot 10^3}\right)^2 \cdot 12560^2} = 0,32 - 5,06i;$$

$$W'_{p2} = 0,82 - 8,08i;$$

$$W'_{p3} = 1,99 - 12,61i;$$

$$W'_{p4} = 3,06 - 15,62i;$$

$$W'_{p5} = 5,21 - 20,35i;$$

Постійна часу $T_{\alpha\gamma z}$ з виразу (3.11) :

$$T_{\alpha\gamma z1} = \frac{60}{20 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{0,1^2 \cdot 600}{2 \cdot 200} - \frac{4 \cdot 0,3}{1,4} \right) \cdot \left(1 - \frac{0,3 \cdot 162}{20 \cdot 10^3} \cdot 10^3 \right) = \frac{0,072}{20};$$

$$T_{\alpha\gamma z2} = \frac{0,072}{32}; \quad T_{\alpha\gamma z3} = \frac{0,072}{50}; \quad T_{\alpha\gamma z4} = \frac{0,072}{62}; \quad T_{\alpha\gamma z5} = \frac{0,072}{81};$$

В залежності від величини зношення по задній поверхні h :

$$T_{\alpha\gamma z6} = \frac{0,06}{20}; \quad T_{\alpha\gamma z7} = \frac{0,027}{20}; \quad T_{\alpha\gamma z8} = \frac{0,004}{20}; \quad T_{\alpha\gamma z9} = \frac{-0,05}{20};$$

$$T_{\alpha\gamma z10} = \frac{-0,041}{20}.$$

З виразів (3.5) і (3.9) постійна часу $T_{\alpha p z}^2$:

$$T_{\alpha p z1}^2 = \frac{0,01 \cdot 600 \cdot 60}{2 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 200} \cdot \left(1 - \frac{0,3 \cdot 162 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} \right) \cdot \frac{25,2}{20 \cdot 10^3} = \frac{-1,62}{20 \cdot 10^6};$$

$$T_{\alpha p z2}^2 = \frac{-1,01}{32 \cdot 10^6}; \quad T_{\alpha p z3}^2 = \frac{-0,65}{50 \cdot 10^6}; \quad T_{\alpha p z4}^2 = \frac{-0,54}{62 \cdot 10^6};$$

$$T_{\alpha p z5}^2 = \frac{-0,40}{81 \cdot 10^6};$$

Характеристика $W_{\alpha\gamma z}$ з виразу (14) :

$$W_{\alpha\gamma z1} = 1 + \frac{1,62 \cdot 12560^2}{20 \cdot 10^6} + i \cdot \frac{0,072 \cdot 12560}{20} = 13,778 + 45,22i;$$

$$W_{\alpha\gamma z2} = 5,98 + 28,26i;$$

$$W_{\alpha\gamma z3} = 3,05 + 18,08i;$$

$$W_{\alpha\gamma z4} = 2,37 + 14,58i;$$

$$W_{\alpha\gamma z5} = 1,78 + 11,16i;$$

$$W_{\alpha\gamma z6} = 13,78 + 37,68i;$$

$$W_{\alpha\gamma z7} = 5,98 + 16,96i;$$

$$W_{\alpha\gamma z8} = 3,05 + 2,51i;$$

$$W_{\alpha\gamma z9} = 2,37 - 31,4i;$$

$$W_{\alpha\gamma z10} = 1,78 - 276,75i;$$

Повна динамічна характеристика відповідно до (3.13) :

$$W_{p1} = 233,22 - 55,25i;$$

$$W_{p2} = 233,24 - 55,14i;$$

$$W_{p3} = 234,06 - 2,48i;$$

$$W_{p4} = 234,99 + 7,59i;$$

$$W_{p5} = 236,38 + 21,92i;$$

$$W_{p6} = 195,07 - 57,67i;$$

$$W_{p7} = 141,94 - 34,41i;$$

$$W_{p8} = 33,72 - 33,47i;$$

$$W_{p9} = -488,22 - 133,10i;$$

$$W_{p10} = -5626,66 - 1479,13i;$$

Передатна функція пружної системи з виразу (3.16) :

$$W_{yc0} = 0,6 \cdot 10^{-3};$$

$$W_{yc12460} = -0,021 - 0,0375i;$$

$$W_{yc12560} = -0,003 \cdot 10^{-3};$$

$$W_{yc12740} = -0,0375 - 0,0375i;$$

Передатні функції розімкнутої системи згідно з (3.19) в залежності від зміни швидкостей різання і зношення твердосплавної пластини різця представлені відповідно у таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1. Вигляд передатних функцій розімкнутої системи W роз при варіації швидкостей різання

Передатна функція розімкнутої системи $W_{роз}$						
S, мм/об	h, мм	Швидкість різання V, м/хв				
1	2	3	4	5	6	7
0,3	0,1	20	32	50	62	81
1	2	3	4	5	6	7
		0,14	0,14	0,14	0,141	0,142
		-0,033i	-0,15i	-0,0015i	+0,0045i	+0,013i
		-0,002	-0,00008	-0,000707	0,00002	-0,00006
		-0,0007i	-0,0007i	-0,0007i	-0,0007i	-0,0007i

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7
		6,665	8,704	8,684	9,097	-9,686
		-10,809i	-8,78i	-8,684i	-8,527i	-8,042i
		-6,965	-5,869	-5,008	-4,65	-4,142
		-7,576i	-8,215i	-8,725i	-8,971i	-9,324i

Таблиця 3.2. Значення передатної функції розімкнутої системи W роз при різних значеннях величини зношення різальної пластини різця

Передатна функція розімкнутої системи $W_{роз}$							
S мм/ об	V м/хв	Зношення по задній поверхні різця h , мм					
		0,1	0,3	0,6	0,9	1,2	2,0
1	2	3	4	5	6	7	8
0,8	20	0,14	0,117	0,085	0,022	-0,29	
		-0,033i	-0,035i	-0,0001i	-0,02i	-0,08i	
		-0,0002	0,0002	-0,001	-0,0001	-0,0004	
		-0,0007i	-0,0006i	-0,0004i	-0,0001i	-0,002i	
		6,665	5,149	4,035	0,15	-33,1	
		-10,809i	-9,475i	-6,615i	-2,67i	+13,12i	
		-6,965	-6,258	-4,27	-2,05	5,15	
		-7,576i	-6,101i	-4,61i	-0,71i	+20,9i	

На рис. 3.5 приведені результати досліджень у вигляді графічних зображень динамічних характеристик, а саме амплітудних фазово-частотних характеристик, [25], які визначають вібраційну усталеність процесу токарної

обробки валів із сталі 60 при різних швидкостях різання і значенні зношення по задній поверхні твердосплавної пластини 0,1 мм.

На рис. 3.6. показані АФЧХ, що характеризують вібраційну усталеність при різних величинах зношення різців.

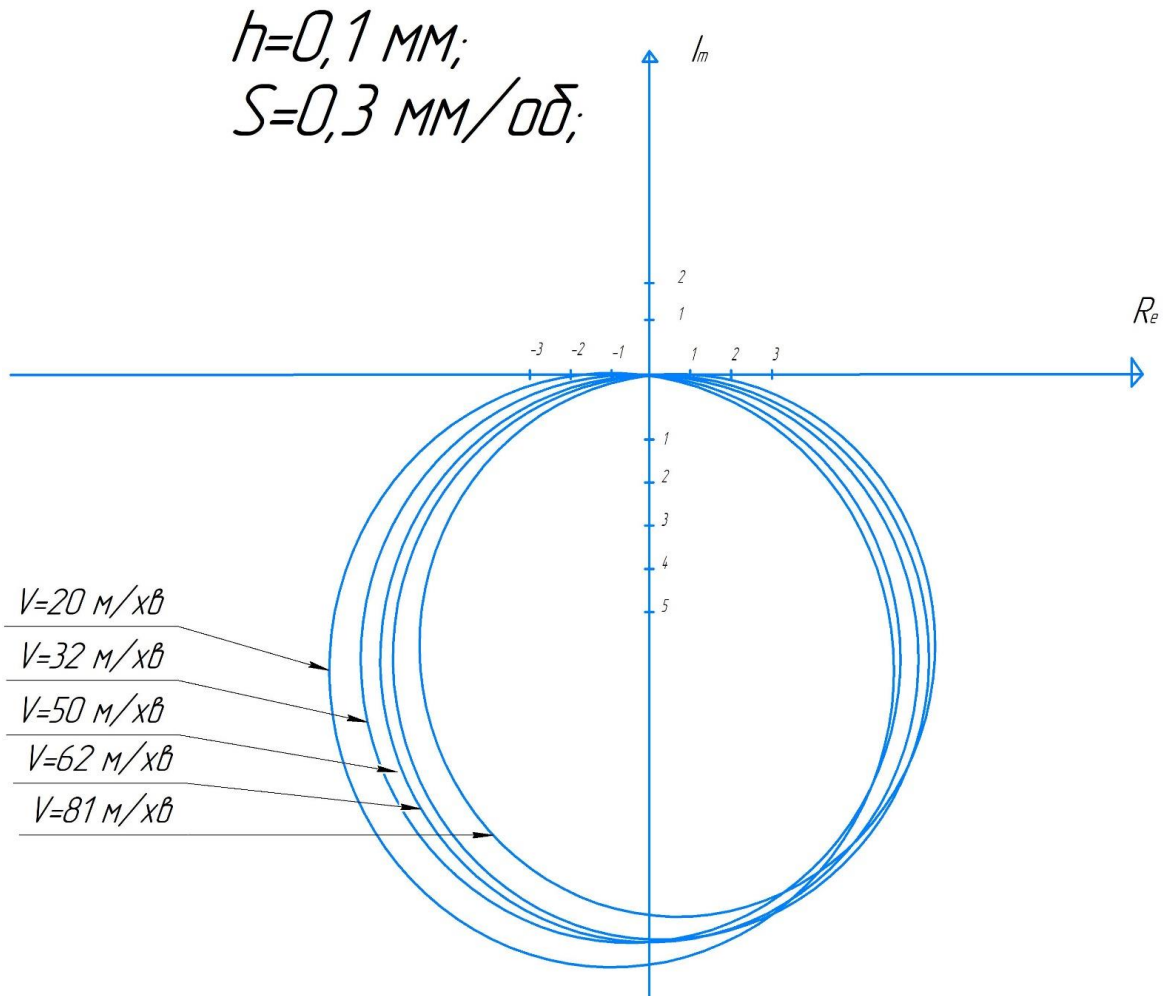


Рис 3.5. Значення АФЧХ процесу різання при варіаціях швидкостей різання

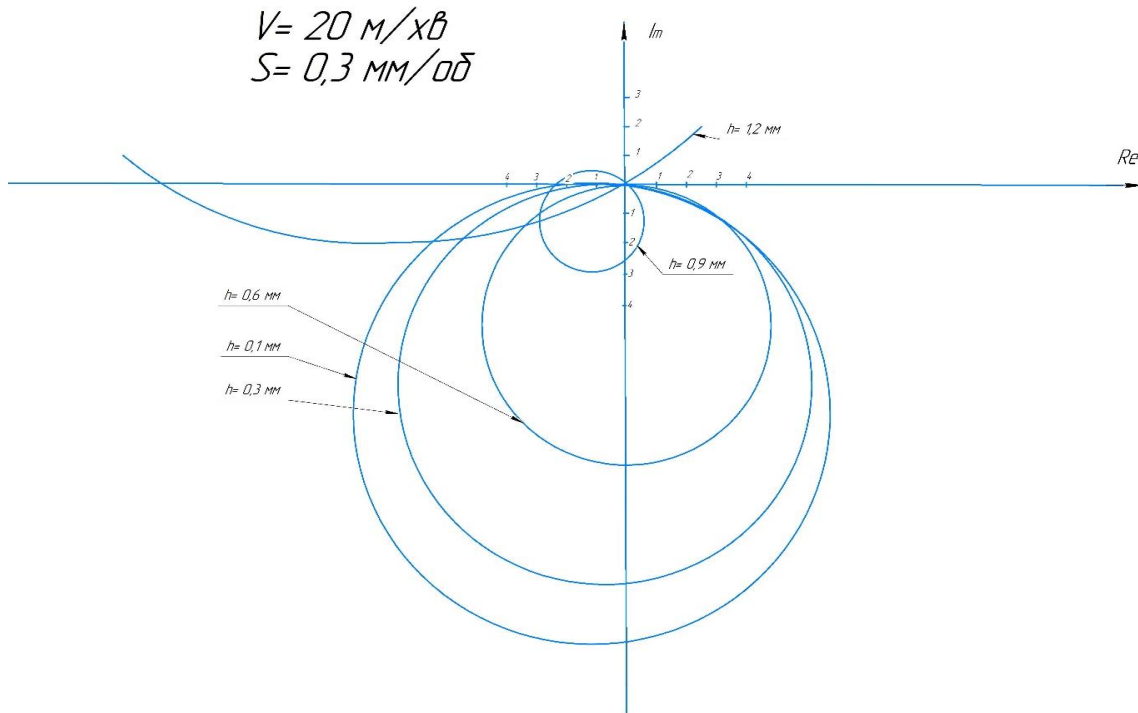


Рис. 3.6. АФЧХ процесу поздовжнього точіння при зміні величин зношення різальних пластин

3.4. Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень

Вважається, що показником ефективності технологічного процесу є приведені затрати [26, 27]:

$$П_3 = E_n K + C_{II} P$$

де E_n – нормативний коефіцієнт окупності щодо капіталовкладень; K – капіталовкладення (маються на увазі – першопочаткові витрати); C_{II} – повна собівартість обробленої деталі; P – річний випуск виробу.

Повна собівартість деталі це :

$$C_{II} = C_1 + C_2$$

де C_1, C_2 – частини повної собівартості, які відповідно залежать від режимів обробки та від матеріаломісткості.

Тоді

$$П_3 = (E_n K + C_2 P) + P C_1 \quad (3.21)$$

Цей критерій дозволяє розглядати два види техніко-економічної оптимізації, які можна сформулювати як варіантну і параметричну.

Варіантна оптимізація включає в себе вибір оптимального варіанту для технологічного процесу обробки даної деталі. Адже зрозуміло, що при заданій продуктивності забезпечити бажану якість деталі можливо за рахунок

різних способів обробки; з використанням різного обладнання, оснащення, інструментів та застосуванням різних заготовок.

Параметрична оптимізація передбачає вибір оптимальних технологічних параметрів для конкретного варіанту технологічного процесу обробки деталі.

Якщо багатоопераційний технологічний процес стосовно механічної обробки деталі має J варіантів і для кожного із них здійснена параметрична оптимізація, тобто відомі оптимальні значення технологічних параметрів, то мета варіантної оптимізації може бути записана у вигляді:

$$\min_{1 \leq j \leq J} [(E_n K_j + C_2 P) + PC_{0j}]. \quad (3.22)$$

При цьому C_{0j} -найменша (оптимальна) технологічна собівартість для j -го варіанту технологічного процесу.

В нашому випадку обробка деталі здійснюється у M операцій. Відповідно номер кожної операції m ($m=1, \dots, M$). Таким чином, кожна із операцій може виконуватись J_m варіантами.

Варіант j технологічного процесу здійснюється набором чисел – номерів варіантів виконання відповідних операцій :

$$1 \leq i(j, m) \leq J_m.$$

При j варіанті технологічного процесу кожна операція характеризується: першопочатковими витратами на m -й операції $K_{j,m}$; частиною собівартості цієї операції, що залежить від матеріаломісткості деталі $C_{2 j,m}$; частиною собівартості цієї операції, що залежить від трудомісткості операції, $C_{0 j,m}$.

При підстановці цих значень у формулу (3.22) знаходять оптимальний варіант.

Якщо розглядати принцип співстаності, що показує зв'язок між варіантним і параметричним виборами технологічного процесу для нашого випадку технологічного процесу обробки деталі типу «вал», то умовно розділимо технологічний процес обробки вала на дві операції ($M=2$) :

чорнового точіння валу ($m=1$) і чистового точіння валу ($m=M=2$) на токарному верстаті.

Кожна із операцій виконується двома варіантами ($J_1=J_2=2$). Перший варіант ($i=1$ для кожної із операцій) – це звична обробка. Другий варіант ($i=2$ для кожної із операцій) – це обробка з використанням встановлення режимів з врахуванням вібраційної усталеності процесу обробки, що розглядалось вище і що відповідає параметричній оптимізації з точки зору динамічної стійкості. Таке налагодження сприяє підвищенню точност та продуктивності і, відповідно, зниженню собівартості деталі.

Проте такий підхід потребує додаткових затрат. Відповідно виникає необхідність рішення задачі варіантної оптимізації. Таким чином, загальна кількість варіантів технологічного процесу дорівнює $J=2*2=4$. Можливі варіанти представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Варіанти технологічного процесу

Номер операції	$i=1$ (звична обробка)	$i=2$ (обробка з врахуванням вібраційної усталеності)
$m=1$	$j=1; 2$	$j=3; 4$
$m=2=M$	$j=1; 3$	$j=2; 4$

Згрупуємо необхідні величини для здійснення варіантної оптимізації і представимо їх в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Критерії оптимальності технологічного процесу

Параметр операції	Значення параметра для операції, грн		Параметр технологічного процесу	Значення параметра, грн	Критерій оптимальності, грн
	2	3			
1	2	3	4	5	6
$K_{1,m}$	0	0	K_1	0	140000
$C_{2\ 1,m}$	2,0	2,0	$C_{2\ 1}$	4,0	
$C_{0\ 1,m}$	4,0	6,0	$C_{0\ 1}$	10,0	
$K_{2,m}$	0	60000	K_2	60000	122000
$C_{2\ 2,m}$	2,0	2,0	$C_{2\ 2}$	4,0	
$C_{0\ 2,m}$	3,0	4,0	$C_{0\ 2}$	7,0	

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
$K_{3,m}$	60000	0	K_3	60000	130000
$C_{2,3,m}$	2,0	2,0	$C_{2,3}$	4,0	
$C_{0,3,m}$	3,8	4,0	$C_{0,3}$	7,8	
$K_{4,m}$	60000	60000	K_4	120000	132000
$C_{2,4,m}$	2,0	2,0	$C_{2,4}$	4,0	
$C_{0,4,m}$	3,4	3,4	$C_{0,4}$	6,8	

Значення P_{zj} за формулою (3.) розраховані при умові, що $E_H=0,2$;
 $P=10^4$ шт на рік.

В розглянутому підході оптимальним є варіант $j=2$, тобто що друга операція передбачає оптимізацію з врахуванням забезпечення вібраційної усталеності процесу обробки.

3.5. Обговорення та аналіз отриманих результатів* (*оприлюднені результати досліджень подаються в додатках)

1. Аналіз результатів розрахунку динамічної стійкості процесу точіння валів зі сталі 60 C_2 показує, що у даному випадку доцільно проводити вибір оптимальних параметрів режиму обробки, виходячи з умови найбільш раціональної експлуатації різців з твердосплавними багатогранними непереточувальними пластинами.

2. Оптимальний показник швидкості різання 50...80 м/хв.

3. Максимальна величина зносу грані пластини по задній поверхні 0,6...0,7 мм, після чого із умови раціональної роботи інструменту потрібно ввести в роботу нову грань.

Основна частина результатів наведених досліджень оприлюднена і опублікована у матеріалах науково-технічної конференції за таким посиланням:

Повх С. Вібраційна усталеність процесу точіння, як елементу динамічної системи верстату. Науковий керівник Луців І.В., д.т.н., проф. / Матеріали III Міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль:

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 р.), 2020. – С. 95-96.

Ксерокопія тез наведена у додатках.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Характеристика умов робочого місця відповідно до вимог охорони праці

Робочі приміщення вибирають відповідно до технологічного процесу, [28]. Такі приміщення мають дозволяти можливість боротьби з шумом та вібраціями, а також виключати забруднення повітря. Відповідно до вимог чинних нормативів виробничі приміщення повинні бути в достатній мірі забезпечені природним освітленням. Обов'язковим є також улаштування ефективної вентиляції, яка б відповідала екологічними і санітарно-гігієнічними вимогам.

Розробка плану виробничої ділянки враховує такі важливі вимоги [28]:

1) Технологічне обладнання, а також проходи та проїзди плануються таким чином, щоб гарантувати зручність та безпеку праці, передбачати можливість ремонту та демонтажу; відповідати умовам транспортування заготовок та інструментів.

2) Технологічну устаткування розміщують у погодженні із передбаченими підйимально-транспортними засобами.

3) Наявні робочі місця організовуються відповідно до ергономічних вимог.

4) За рахунок автоматизації технологічного процесу досягають полегшених умов праці.

Структура виробничих місць на ділянці будується на основі генерального плану промислового підприємства. Основні вимоги щодо генерального плану викладені в СНиП2.09.02-85, вимоги до виробничих приміщень зазначені у СНиП11-90-81 та СН245-71.

Обов'язковим є попереджувальне фарбування таких елементів: конструкцій будівельного плану, електричних дротів, технологічного обладнання, окремих пристосувань. Воно здійснюється для запобігання травматизму і повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.4.026-76.

Згідно із прийнятими санітарними розмірами [28] визначають об'єм виробничого приміщення, який складає, наприклад, 15м³. Висота

виробничих приміщень може бути вибрана - 4,5м. Ширину основних проходів приймаємо усередині ділянки - 1,5м, а ширина проїздів - 2,5 м. Ширина виходів з приміщень є достатньою 1,0м, а висота 2,2м. Брами, які ведуть з приміщення на вулицю повинні бути обладнані тамбурами [28].

Особливими є вимоги до облаштування робочого місця. Його структура повинна забезпечувати зручні рухи щодо вимог ергономіки, так і безпечні дії з матеріалами, інструментами та заготовками. Також потрібно створити умови для ремонту та обслуговування верстату. План робочого місця передбачає взаємне розташування органів керування обладнанням, наявність стелажів для пристосувань та накопичення заготовок, тумби для зберігання інструментів [28].

Для ділянки стосовно токарної обробки (гігієнічна класифікація 2 клас) характерні умови праці, які характеризуються факторами, що не перевищують звичайних вимог до гігієнічних нормативів для робочих місць та не чинять особливо несприятливого впливу на стан здоров'я робітників [28].

Підлога такої ділянки повинна бути зносостійкою і неслизькою, а також легко очищуватись від бруду. Слід забезпечити попередження щодо проникнення в інші приміщення мастил, змащувально – охолоджувальних рідин і т.п..

Для даної категорії робіт середньої важкості вибирають мікроклімат робочого приміщення, який створює раціональні умови праці, [28], а саме:

а) забезпечує температурний повітряний режим: в теплий період $t = (21...23) ^\circ C$, в холодний період - $t = (19...21) ^\circ C$;

б) відносна вологість повітря у будь яку пору року становить $\theta = (40...60) \%$;

в) швидкість руху повітря повинна бути: у холодний період року $V = до 0,3 м / с$, а в - теплий період $V = 0,2...0,4 м / с$.

Щодо інших параметрів мікроклімату, то вони становлять: барометричний тиск $\rho = 760 мм.рт.ст$; інтенсивність можливого випромінювання $w < 75 Вт / м^2$.

Доцільно на такій виробничій дільниці встановлювати припливно-втяжну вентиляцію. Така вентиляція призначена для такого повітряного обміну, що передбачає одночасну подачу і видалення повітря [28].

Водяне опалення (низького тиску) повинно відповідати санітарно-гігієнічним вимогам [28].

Для забезпечення необхідного освітлення можна використовувати суміщене освітлення, при якому природнє освітлення доповнюють штучним. При цьому слід забезпечувати природнє і встановлювати штучне освітлення згідно на робочих місцях із СНиП 11-4-79, зокрема, для робочого освітлення - $E_p=300\text{лк}$; для аварійного освітлення $E_{ав}=2\text{лк}$; для евакуаційного освітлення - $E_{ев}=0,5\text{лк}$.

Для зменшення рівня шуму використовують захисні екрани та кожухи згідно ГОСТ 12.1.029.-80. При цьому шум не повинен перевищувати $L_w=70\text{дБ}$ [28].

На дільниці для запобігання вібраціям використовуються демпфери, спеціальне покриття корпусних частин устаткування. Гранична норма вібрації відповідає вимогам ГОСТ 12.1.012-78 і не перевищує 65 дб.[28]

Для попередження ураження електричним струмом все устаткування має заземлення із опором, який не перевищує $R_d \leq 4 \text{ Ом}$. Має бути огороження кабелів. І повинні бути встановлені блокуючі пристрої аварійного виключення.

Дане робоче місце подібних дільниць відноситься за пожежною безпекою до категорії приміщень Д (відповідно до ГОСТ 12.1004.-91 ССБТ). Як правило, встановлюються пожежні прилади на 10 сповіщувачів типу ПКОП-1. Також на пожежному щиті розташовані способи пожежогасіння та пожежний інвентар (гаки, ломи, сокири, пісок), які розміщені на позначені фарбою по ГОСТ 12.4.026-76 і порошкові вогнегасники ОП-2 [28].

4.2. Розрахунок захисного заземлення

Для технологічного обладнання потрібно розраховувати захисний заземлюючого пристрою, [29]. Об'єктом заземлення є стаціонарне обладнання, яке підключене до мережі 220В із глухо заземленою нейтраллю. Вибираємо заземлюючий пристрій вертикального і горизонтального типу.

Встановлюємо розміри вертикальних заземлювачів: довжина l_v - 4 м; січення кутника 35×35 мм, а розміри горизонтальних заземлювачів - $d_g = 0,03$ м. Глибина закладання заземлювачів $h_v = h_g = 0$ м. Попередньо приймаємо розташування заземлювачів за чотирикутним контуром за кількості стержнів від 4 до 100 та в один ряд при числі стержнів від 2 до 20.

Ґрунт – однорідний, вологість і агресивність – нормальні, кліматична зона - II.

Розрахунок полягає у наступному.

Визначаємо характеристику навколишнього середовища в розглядуваному цеху: за пожежною небезпекою згідно з ПУЕ воно відноситься до класу II – 11; за вибухонебезпекою згідно з ПУЕ - до класу В – 1; за ступенем ураження електричним струмом – без підвищеної та особливої небезпеки.

Допустиме значення опору розтіканню струму в заземлювальному пристрої складає $R_{\partial} \leq 4$ Ом. Приблизне значення питомого опору ґрунту, приймаємо $\rho_{\text{табл.}}$ – 300 Ом/м [29]. Приймаємо коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів, для даної кліматичної зони II $K_{с.в.} = 1,5$, а коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача відповідно $K_{с.г.} = 3,5$, [29].

Таким чином, розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів

$$\rho_{\text{розр.в.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_{с.в.} = 300 \cdot 1,5 = 450 \text{ Ом} \quad (4.1)$$

Відповідно розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів

$$\rho_{\text{розр.г.}} = \rho_{\text{розр.в.}} \cdot K_{с.г.} = 450 \cdot 3,5 = 1575 \text{ Ом} \quad (4.2)$$

Визначаємо опір розтікання струму одному вертикальному заземлювачі:

$$R_{\partial} = \frac{\rho_{п.в.}}{\pi \cdot l_B} \cdot \ln \frac{4,2 \cdot l_{п.в.}}{b} = \frac{450}{3,14 \cdot 4} \cdot \ln \frac{4,2 \cdot 4}{0,035} = 221 \text{ Ом} \quad (4.3)$$

Тоді теоретична кількість вертикальних заземлювачів без врахування коефіцієнта використання $\eta_{в.в.}$.

$$n_{т.в.} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{в.в.}}} = \frac{221}{4 \cdot 1} = 55 \text{ шт} \quad (4.4)$$

Приймаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при розташуванні їх згідно вихідних даних або за чотирикутним контуром при $n_{т.в.} = 55$ шт. та при відсутності $L_{\text{в}}/\ell_{\text{в}} = 1$: $\eta_{т.в.} = 0,39$ [29].

Таким чином, визначаємо необхідну кількість штук вертикальних однакових заземлювачів .

$$n_{н.в.} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}} \cdot \eta_{т.в.}} = \frac{221}{4 \cdot 0,39} = 142 \text{ шт} \quad (4.5)$$

Обчислюємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах без врахування з'єднувальної стрічки

$$R_{\text{розр.в.}} = \frac{R_{\text{в}}}{n_{н.в.} \cdot \eta_{т.в.}} = \frac{221}{142 \cdot 0,39} = 4 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Визначаємо відстань між вертикальними заземлювачами, зважаючи на співвідношення $L_{\text{в}}/\ell_{\text{в}} = 1$,

$$L_{\text{в.}} = 1 \cdot \ell_{\text{в.}} = 1 \cdot 4 = 4 \text{ м} \quad (4.7)$$

де $\ell_{\text{в}}$ – довжина вертикального електрода.

$$L_{\text{з.с.}} = 1,05 \cdot L_{\text{в.}} \cdot (n_{н.в.} - 1) = 1,05 \cdot 4 \cdot (142 - 1) = 592 \text{ м} \quad (4.8)$$

Отже, опір розтікання струму горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці):

$$R_{\text{г.з.с.}} = \frac{\rho_{\text{р.г.}}}{\pi \cdot L_{\text{з.с.}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{з.с.}}}{d} = \frac{1575}{3,14 \cdot 592} \cdot \ln \frac{2 \cdot 592}{0,03} = 8,9 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

Визначаємо коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів при розташуванні вертикальних за чотирикутним контуром. При співвідношенні $L_v/\ell_v = 1$ та необхідній кількості вертикальних заземлювачів $n_{н.в.} = 142$ шт. приймаємо $\eta_{в.г.} = 0,20$, [29]. При паралельно включених горизонтальних заземлювачах $\eta_{в.г.}$ визначають з [29].

Отже, можемо отримати розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальних заземлювачах (з'єднуючій стрічці):

$$R_{розр.г.} = \frac{R_{г.з.с.}}{N_{г.} \cdot \eta_{в.г.}} = \frac{8,9}{1 \cdot 0,20} = 44,5 \text{ Ом} \quad (4.10)$$

Визначаємо розрахунковий теоретичний опір розтікання струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах:

$$R_{розр.в.г.} = \frac{R_{розр.в.} \cdot R_{розр.г.}}{R_{розр.в.} + R_{розр.г.}} = \frac{4 \cdot 44,5}{4 + 44,5} = 3,7 \text{ Ом} \quad (4.11)$$

Матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників вибираємо згідно [29] табл. 2.20: провідники алюмінієві $S_m = 6 \text{ мм}^2$.

Такий же вибір робимо щодо матеріалу та поперечного сечення магістральної шини. Приймаємо сталеву шину товщиною $\delta_s = 4 \text{ мм}$ і сеченням не менше $\sigma = 100 \text{ мм}^2$, [29].

Остаточно представимо схему з'єднання обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини зі заземлювальним пристроєм (з'єднувальною стрічкою) (рис. 4.1).

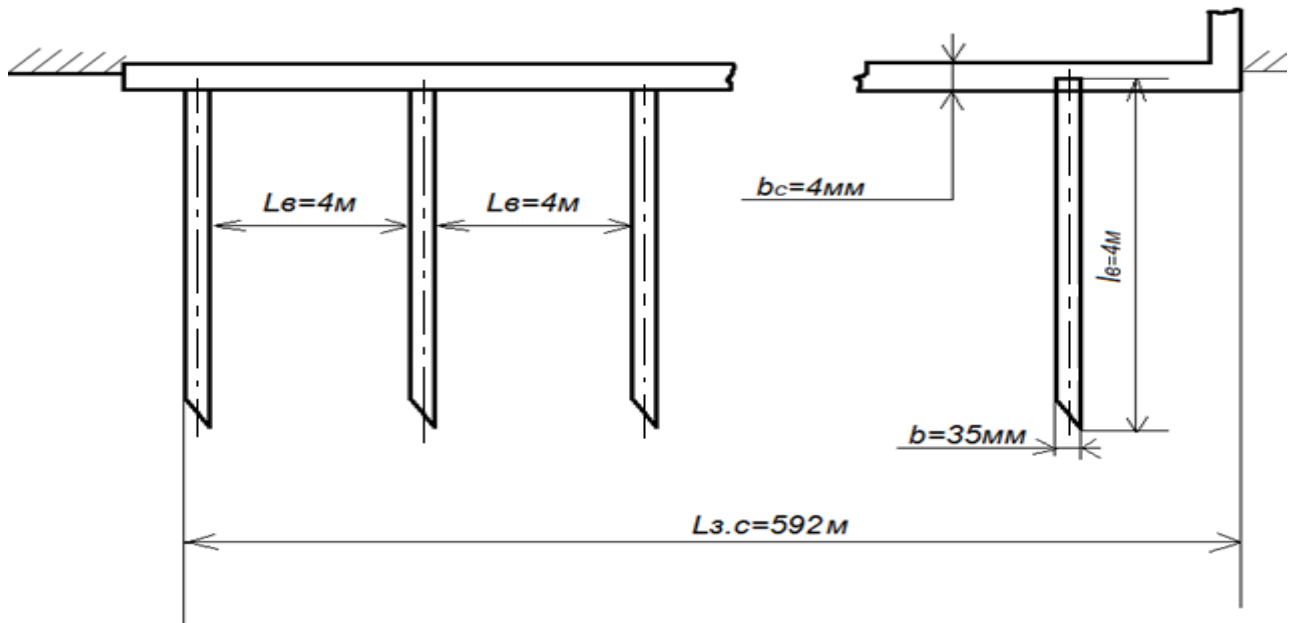


Рис. 4.1. Схема з'єднання обладнання з магістральною шиною

Висновки до розділу 4

На виконання розділу 4 можна зробити такі висновки.

1. На основі існуючих джерел зроблено пропозиції щодо комплектування робочого місця для токарної обробки в складі механічної дільниці, яке здійснено відповідно до чинних вимог охорони праці.
2. В результаті проведеного розрахунку захисного заземлення спроектована схема з'єднання обладнання з магістральною шиною. При цьому показано, що розрахунковий теоретичний опір розтікання струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах становить 3,7 Ом, що відповідає поставленій вимозі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В даній кваліфікаційній роботі магістра вирішено важливу науково-прикладну проблему стосовно підвищення ефективності токарної обробки довгих валів із сталі 60 на основі підвищення вібраційної усталеності процесу точіння.
2. Здійснено аналіз відомих інформаційних та патених джерел, в результаті якого встановлені основні підходи щодо оцінки динамічної стійкості процесу різання при точінні, а також проведено огляд розроблених методів і засобів створення відповідних математичних моделей.
3. Приділена увага існуючим конструкціям токарних верстатів для обробки валів та запропонований маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі типу «вал» із конструкційної сталі, а також спроектована технологічна операція точіння вала зі сталі 60.
4. На основі представлених схем формоутворення і структурної схеми верстату проведено кінематичний вибір приводу головного руху токарного патронного центрового верстату із модернізованою кінематикою для обробки валів, зокрема, із сталі 60.
5. В результаті багатоваріантного вибору запропоновано конструкцію шпиндельного вузла верстату.
6. Для розрахунку частотних характеристик процесу поздовжнього точіння валів здійснено розвиток відомої математичної моделі, на основі якої отримані графічні побудови цих характеристик.
7. Розроблено математичну модель оцінки вібраційної усталеності процесу поздовжнього точіння валів із сталі 60 за його АФЧХ при використанні різців з непереточуваними змінними твердосплавними пластинками.
8. На основі побудованих АФЧХ досліджуваного точіння і проведеного аналізу показані варіації вібраційної усталеності процесу для різних швидкостей різання та величин зношення пластинок.
9. Дослідження ілюструються економічним розрахунком, а доповнюються розробленими заходами охорони праці і безпеки життєдіяльності.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Кузнецов, Ю.М. Теорія технічних систем /Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк. – К. – Тернопіль, 1997. – 310с.
2. Попов В.И. Динамика станков /В.И. Попов, В.И. Локтев. – К.: Техніка, 1975. – 136с.
3. Кудинов, В.А. Динамика станков /В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359с.
4. Теорія автоматичного керування
5. Зарубицкий Е.У. Математическое моделирование, исследование и испытание станков и станочный комплексов.: Учеб. Пособие /Е.У. Зарубицкий, О.С.Кроль, Т.П. Костина - К.: УМК ВО, 1993. -83с.
6. Металлорежущие станки: Учебник /В.Э.Пуш и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 575с.
7. Балакшин, Б.С. Основы технологи машиностроения /Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 561с.
8. Егоров, М.Е. Технология машиностроения /М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1976. – 535с.
9. Пуш, В.Э. Конструирование металлорежущих станков /В.Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1977. – 561с.
10. Маеров, А.Г. Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий: Учебное пособие / А.Г.Маеров. М.: Машиностроение, 1986.
11. Гуляев, А.П. Металловедение /А.П. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1986. – 272с.
12. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения /А.Ф. Горбачевич. – Минск: Высшая школа, 1975. – 288с.
13. Барановский, Ю.В. Режимы резания металлов: Справочник /Ю.В. Барановский. – М.: Машиностроение, 1972. – 408с.
14. Дубиняк, С.А. Расчет деталей и узлов металлорежущих станков с использованием ЭВМ: Учеб. пособие /С.А. Дубиняк, С.Г. Нагорняк, И.В. Луців, И.Д. Дубецкий. – К.: УМК ВО, 1989. -152с.

15. Детали и механизмы металлорежущих станков. Под ред. Д.Н.Решетова. В 2-х т. – М.: Машиностроение, 1970.
16. Аверьянов, О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О.И. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1987. – 345с.
17. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков /Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208с.
18. Кедров, С.С. Колебания металлорежущих станков /С.С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199с.
19. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986.
20. Анельчик, Д.Є. Система різання: фізичні основи і оптимізація /Д.Є. Анельчик, С.В. Швець, І.В. Луців, І.Д. Дубецький. Під ред. І.В. Луціва. – Одеса-Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2000. – 145с.
21. Якобс, Г.Ю. Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации /Г.Ю. Якобс, Э. Якоб, Д. Кохан. – М.: Машиностроение, 1981. – 279с.
22. Луців, І.В. Аналіз частотними методами динамічної стійкості багатолезової самоналагоджувальної обробки / І.В. Луців //Вісник Тернопільського державного університету, 1999, т.4, №1 с.97-103.
23. Шанайда, В.В. Пакет MathCADв інженерних розрахунках /В.В. Шанайда. –Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2001. – 163с.
24. Кузнєцов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.: - Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.
25. Повх С. Вібраційна усталеність процесу як елементу динамічної системи верстату / Матеріали III міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 року), 2020. - С.95-96.
26. Луців І.В. Багатолезове адаптивне оснащення: техніко-економічні показники/ І.В. Луців // Вісник ЖДТУ. - Житомир: ЖДТУ, 2001, 316, с. 52-59

27. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, С.П. Протопопов и др. М.: Машиностроение, 1980. – 536с.
28. Охорона праці : Навч. посіб. / Я.І. Бедрій, Є.О. Геврик, І.Я. Кіт та інші; ред. Є.О. Геврик; Укр. Держ. Лісотехн. Ун-т. – Львів, 2000. – 280с.
29. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Б.Ю. Липкин - М.: Высшая школа, 1990. - 366 с. /

ДОДАТКИ



КАФЕДРА
КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ,
ІНСТРУМЕНТІВ ТА МАШИН



**Тернопільський національний
технічний університету імені Івана
Пулюя**

**Дослідження вібраційної усталеності процесу точіння
валів із сталі 60 різцями з твердосплавними
непереточуваними пластинами
(кваліфікаційна робота на здобуття ступеню магістр)**

Виконав: студент

Повх Степан Вікторович, гр. Мвнм-61

Керівник кваліфікаційної роботи :

**доктор технічних наук, професор,
заслужений працівник освіти України,
професор кафедри конструювання верстатів,
інструментів та машин
Луців Ігор Володимирович**

Тема, мета і завдання дослідження

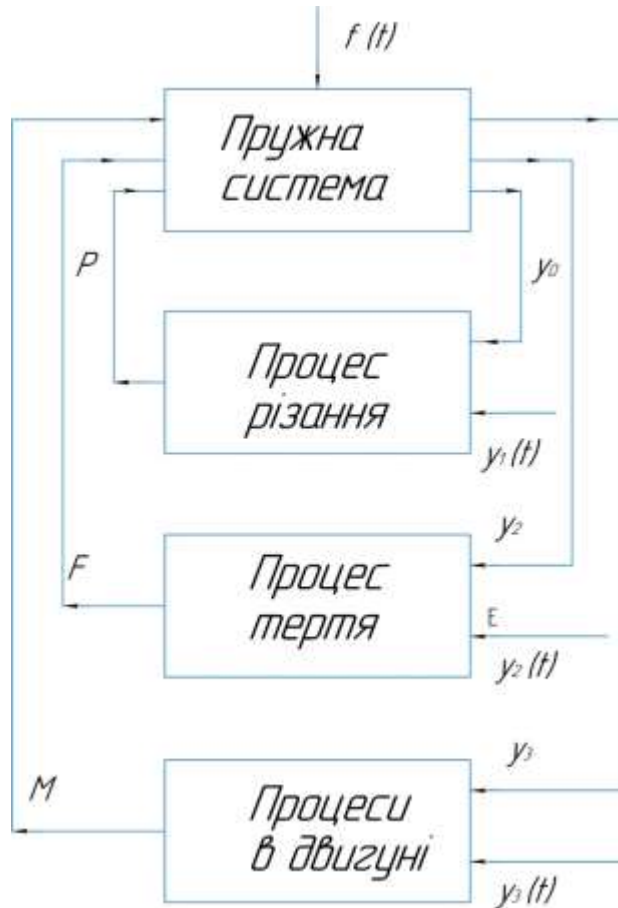
- **Мета роботи:** підвищення ефективності процесу точіння валів із сталі 60 різцями із твердосплавними непереточуваними пластинами на основі забезпечення вібраційної усталеності процесу обробки
- **Об'єкт дослідження** процес точіння валів із сталі 60 на токарному верстаті.
- **Предмет дослідження** – регуляторні закономірності вібраційної усталеності точіння валів із сталі 60 з використанням непереточуваних пластин із твердого сплаву.

Завдання кваліфікаційної роботи

- Провести аналіз методів і моделей дослідження динамічної стійкості процесу точіння.
- Здійснити опис перспективних конструкцій токарних верстатів для обробки валів.
- Розробити технологію обробки деталі типу «вал» із конструкційних сталей.
- Розробити кінематику головного руху токарного верстату для обробки валів із сталі 60.
- Провести розрахунок на жорсткість шпиндельного вузла токарного верстату.
- Розвинути математичну модель визначення АЧХ і ФЧХ процесу поздовжнього точіння валів.
- Побудувати математичну модель вібраційної усталеності процесу точіння стосовно обробки валів із сталі 60 різцями, оснащеними непереточуваними пластинами із твердого сплаву.
- Зобразити АФЧХ досліджуваного процесу і здійснити аналіз їх графічних представлень.
- Провести обробку результатів математичного моделювання і формулювання висновків щодо забезпечення достатньої вібраційної усталеності досліджуваного процесу обробки.
- Запропонувати техніко - економічне обґрунтування і описати застосовувані методи охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи

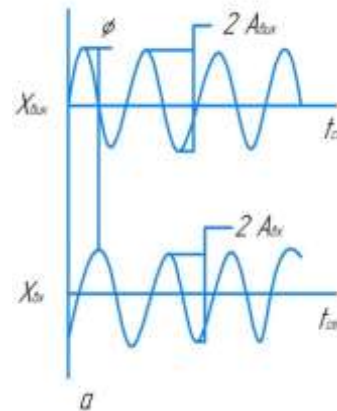
Блок-схема замкнутої динамічної системи металорізального верстату



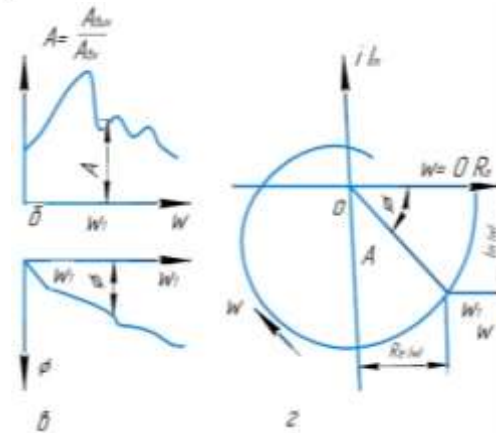
Загальний вигляд передатної функції системи верстату

$$W(p) = \frac{X_{вих}}{X_{вх}} = \frac{R(p)}{Q(p)}$$

Частотні характеристики динамічного стану



а) характер вхідних і вихідних координат



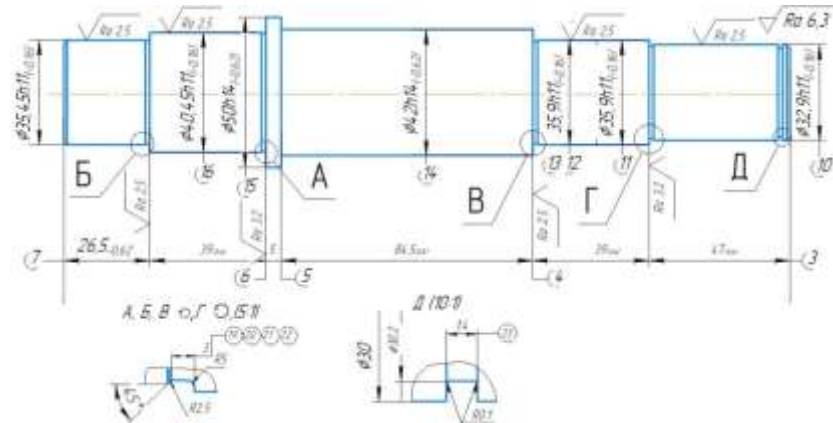
б) АЧХ
в) ФЧХ
г) АФЧХ

Базовий верстат і базовий технологічний процес

Характеристика токарно-патронного верстата мод. 16К20ФЗ

Технічна характеристика	Позначення	Параметр
1	2	3
Найбільший діаметр обробки над станиною	мм	320
Найбільший діаметр обробки над супортом	мм	200
Найбільша довжина виробу при 8 -ми позиційній голівці	мм	750
Відстань між центрами	мм	1500
Розмір внутрішнього конуса шпинделя		Морзе №6
Діаметр наскрізного отвору в шпинделі	мм	55
Найбільший хід повздовжнього супорта	мм	210
Найбільший хід поперечного супорта	мм	905
Діапазон швидкостей повздовжніх подач	мм/хв (мм/об)	10..2000 (2,8)
Діапазон швидкостей поперечних подач	мм/хв (мм/об)	5..1000 (1,4)
Межі частот прямого обертання шпинделя	хв-1	20...2500
Кількість позицій при повороті різцетримача (число інструментів в револьверній голівці)		8 (6,12)
Позначення системи ЧПУ		2P22
Число координат		2
Дискретність заданих координат в повздовжньому / поперечному напрямку (дискретність по осі Z , X)		0,001
Межі програмованих подач повздовжніх / поперечних		0,01...20/ 0,01...10
Найбільше січення різця	мм/об	25
Потужність електродвигуна головного приводу	кВт	11
Габаритні розміри верстата (Д х Ш х В)	мм	3 700 х 3 000 2 100
Маса верстата	кг	4150

Ескіз деталі

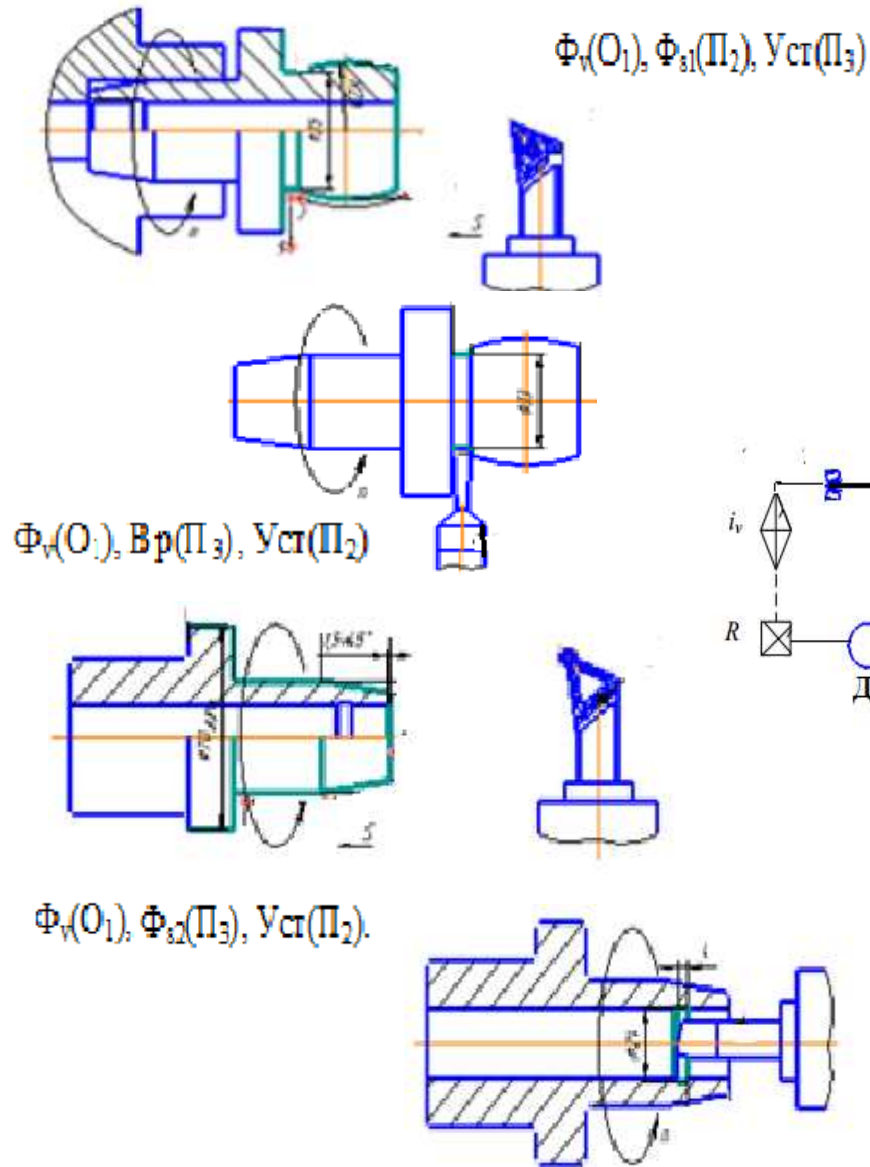


Склад токарної операції 015 Токарна з ЧПК

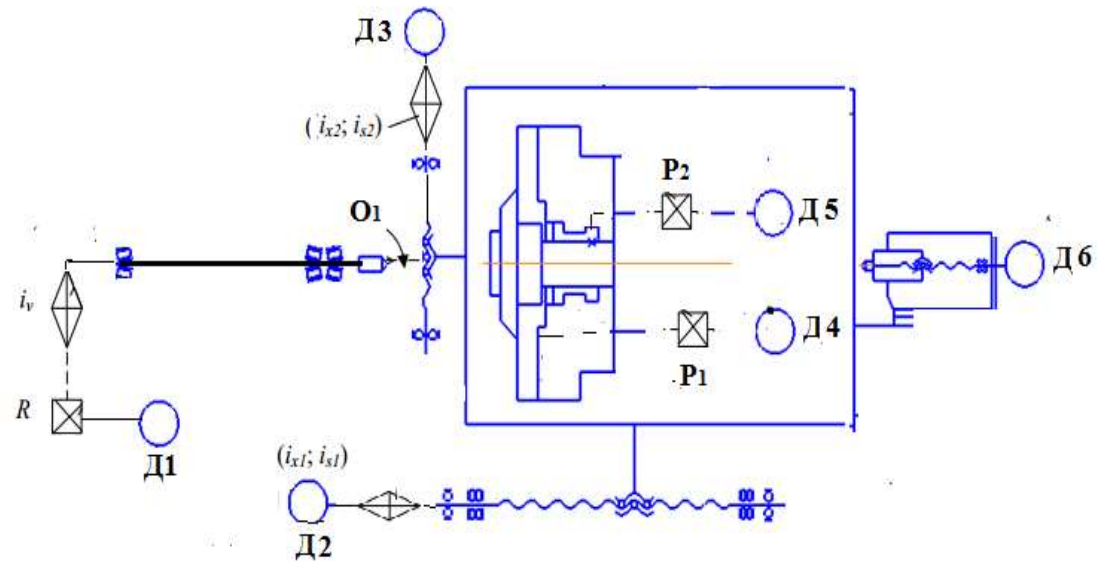
Номер, назва операції, пороходу	Інструмент		
	Допоміжний	Різальний	Вимірний
1	2	3	4
015 Токарна з ЧПК			
Перехід 2: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 15	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1181 ГОСТ 24996-81 Різуна пластина 01114-220408 T5K10 ГОСТ19046-80	ШЦ-І-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88
Перехід 3: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 14 з підрізкою торця 5	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1181 ГОСТ 24996-81 Різуна пластина 01114-220408 T5K10 ГОСТ19046-80	ШЦ-І-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88 Штиггенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05-1 ГОСТ 166-88
Перехід 4: Чорнове точіння зовнішньої поверхні 12 і 11 з підрізкою торця 4	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1181 ГОСТ 24996-81 Різуна пластина 01114-220408 T5K10 ГОСТ19046-80	ШЦ-І-125-0, 1-1 ГОСТ 166-88
Перехід 8: Напівшестове точіння зовнішньої поверхні 11 і 12 з підрізкою торця 8	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 Різуна пластина 01114-16412 T5K10 ГОСТ19046-80	Мікрометр МК 50-1 ГОСТ 6507-90
Перехід 12: Числове точіння зовнішньої поверхні 11 і 12 і канавки 19	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець 2102-1182 ГОСТ 24996-81 Різуна пластина 01114-16412 T15K6 ГОСТ19046-80	Мікрометр МК 50-1 ГОСТ 6507-90 Шаблон спеціальний для перевірки розміру h=3, R05
Перехід 16: Прорізка канавки 23	Револьверна головка з комплекту верстата; Державка циліндрична ГОСТ 24900-81	Різець прорізний канавочний спеціальний T15K6	Шаблон спеціальний для перевірки розміру h=1,4, R0,1

Розробка структурно-кінематичної схеми верстату

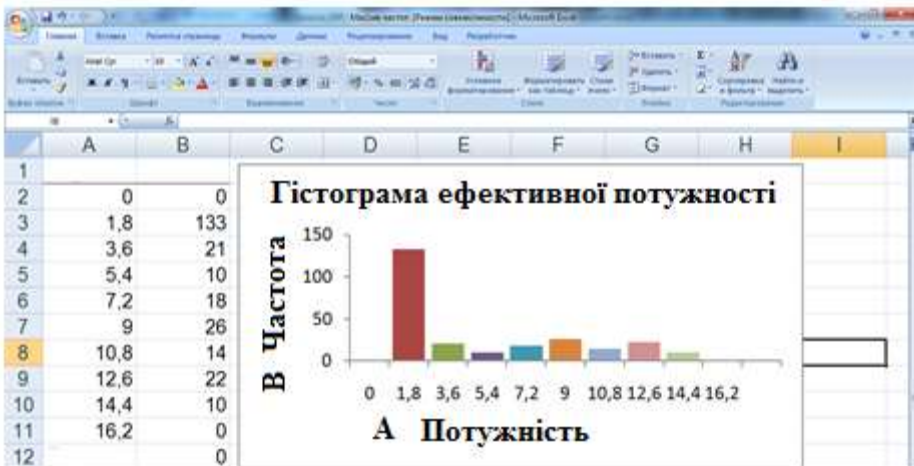
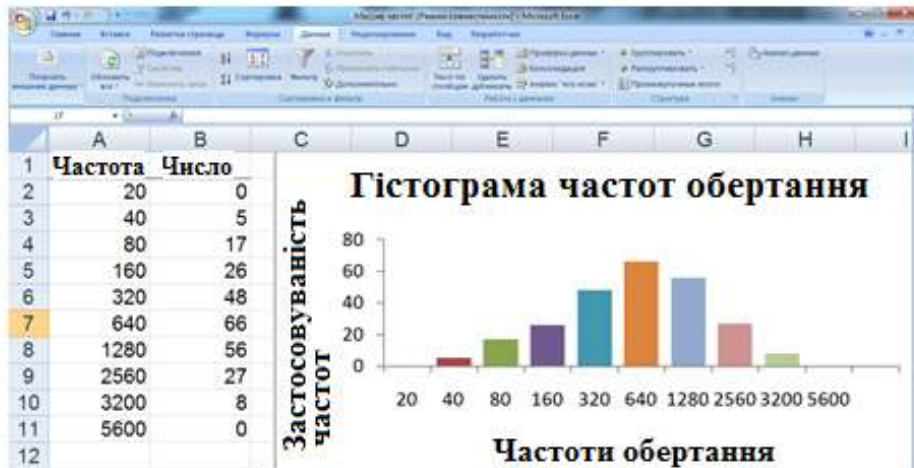
Формоутворювальні рухи на верстаті



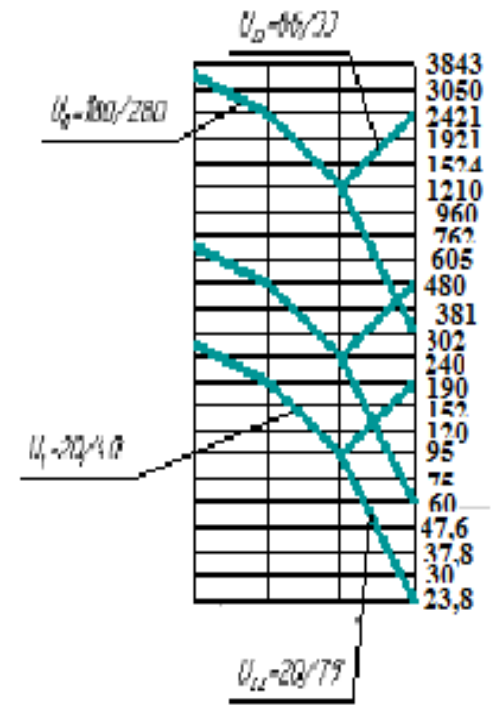
Структурно-кінематична схема верстату



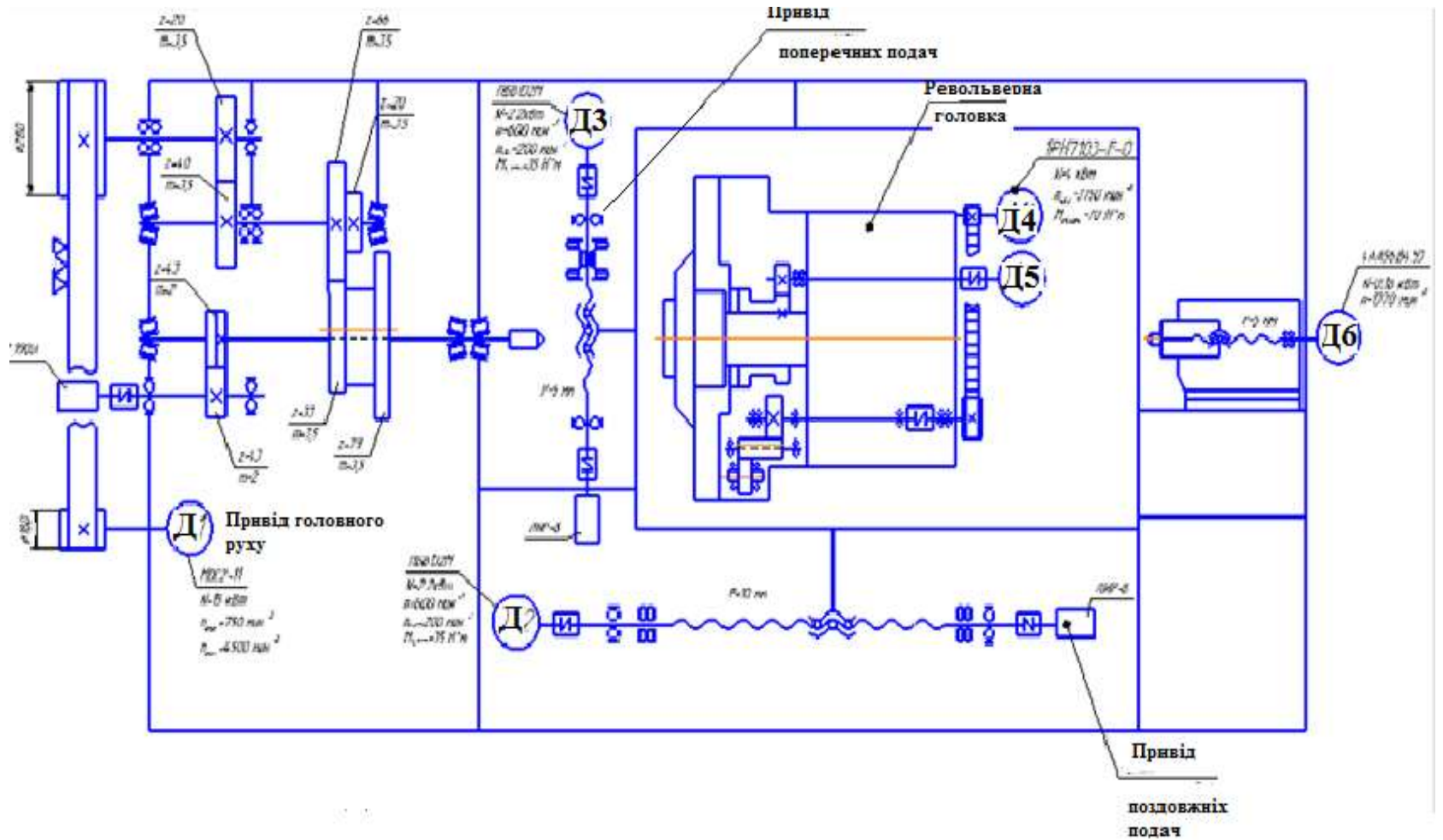
Кінематичний розрахунок



Графік чисел обертів приводу головного руху

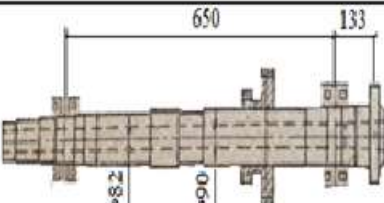
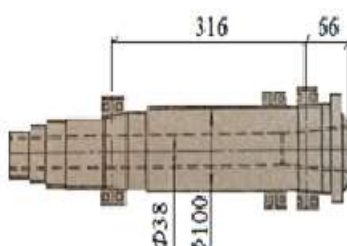
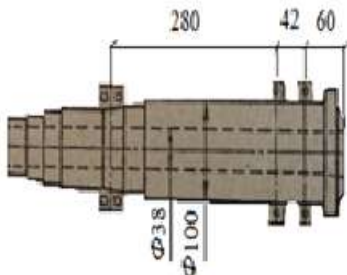


Кінематична схема верстату

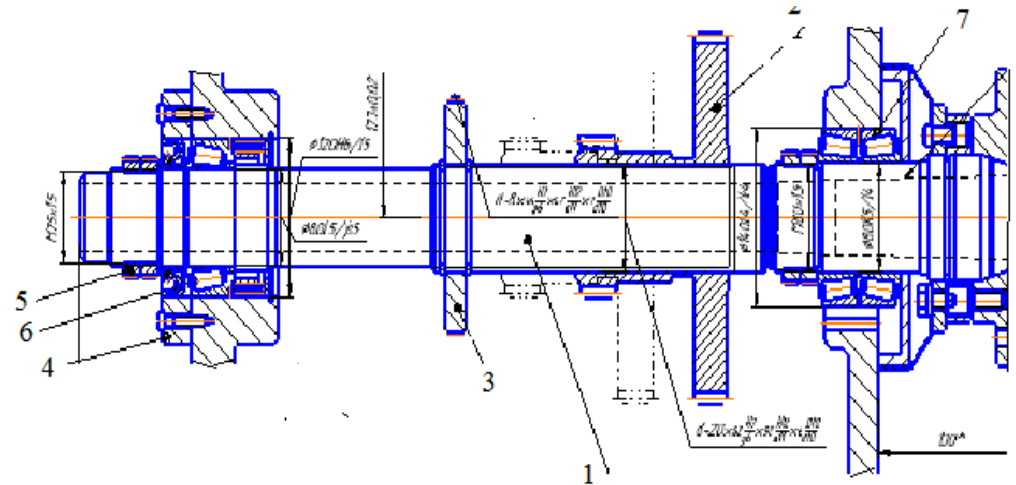


Проектування шпindelного вузла

Вплив конструктивних схем шпindelних вузлів на жорсткість і динамічну стійкість

Ескіз шпindelного вузла	Жорсткість, %	Динамічна стійкість, %
	100	100
	158	213
	122	138

Шпindelний вузол верстату



Динамічна характеристика процесу різання в операторній формі

$$P_{\text{аау}} = \frac{K_p \cdot (1 + T_{\alpha\gamma} \cdot P + T_{\alpha p}^2 \cdot p^2)}{1 + T_p \cdot p} \cdot y$$

Коефіцієнт різання

$$K_p = \kappa \cdot \epsilon$$

Постійні часу

стружкоутворення

$$T_p = \frac{m}{n} \cdot \frac{\alpha \cdot \mathcal{G}}{v}$$

переднього кута

$$T_\gamma = \frac{K_\gamma \cdot \alpha}{V \cdot \mathcal{G}}$$

заднього кута

$$T_\alpha = \frac{h^2 \cdot H_\alpha}{2 \cdot V \cdot k}$$

Остаточні значення постійних часу

$$T_{\alpha z} = \frac{h^2 \cdot H_\alpha}{2 \cdot V \cdot k} \cdot \left(1 + \frac{S_M}{V} \cdot K_{\alpha\gamma} \right)$$

$$T_{\gamma z} = \frac{K_\gamma \cdot \alpha}{V \cdot \mathcal{G}} \cdot \left(1 + \frac{S_M}{V} \cdot K_{\alpha\gamma} \right)$$

$$T_{\alpha\gamma z} = \frac{1}{\gamma} \cdot \left(\frac{h^2 \cdot H_\alpha}{2 \cdot k} - \frac{K_\gamma \cdot \alpha}{\mathcal{G}} \right) \cdot \left(1 + \frac{S_M}{V} \cdot K_{\alpha\gamma} \right)$$

Модель розрахунку амплітудних характеристик процесу поздовжнього точіння деталі вал із сталі 60

Передатна функція

$$W(p) = \frac{m_z}{p} (1 - e^{-p\tau})$$

$$W(i\omega) = \text{Re}(\omega) + i\text{Im}(\omega),$$

$$\text{Re}(\omega) = \frac{m_z \sin \omega \tau}{\omega}, \quad \text{Im}(\omega) = \frac{m_z (\cos \omega \tau - 1)}{\omega}$$

Амплітудо-частотна характеристика

$$A(\omega) = \frac{m_z \sqrt{(\sin \omega \tau)^2 - (\cos \omega \tau - 1)^2}}{\omega}$$

Фазо-частотна характеристика

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\cos(\omega \tau - 1)}{\sin \omega \tau}$$

Програма в MathCAD

Mathcad Professional - [розрахунок амплітудно-част хар-ик]

Файл Правка Вид Вставка Формат Математика Символи Оєно ?

Normal Arial 10

Rozrahunok amplitudno chاستotnyh harakterystyk dla pozdovzhnogo tochinia

Vhidni dati

$M_z = 0.9$

$T = 0.105$

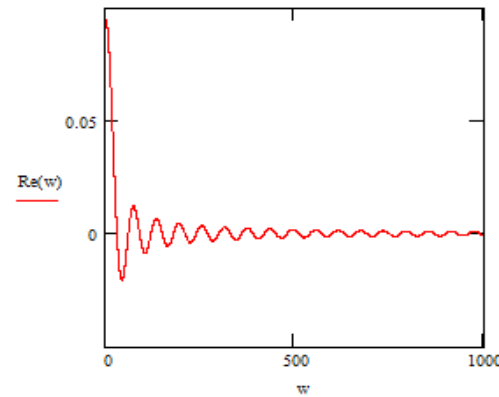
$\omega = 0.1, 0.2, \dots, 1000$

$$\text{Re}(\omega) = M_z \cdot \frac{\sin(\omega \cdot T)}{\omega} \quad \text{Im}(\omega) = M_z \cdot \frac{(\cos(\omega \cdot T) - 1)}{\omega}$$

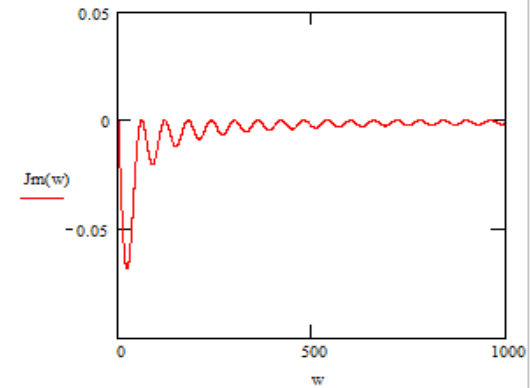
$$A(\omega) = M_z \cdot \frac{\sqrt{(\sin(\omega \cdot T))^2 - (\cos(\omega \cdot T) - 1)^2}}{\omega}$$

Результати розрахунків

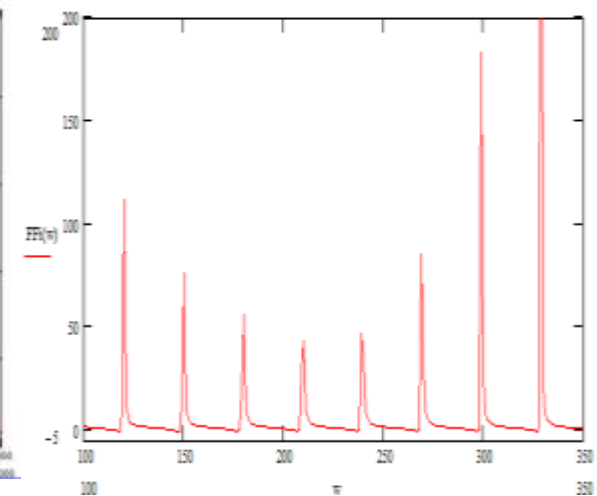
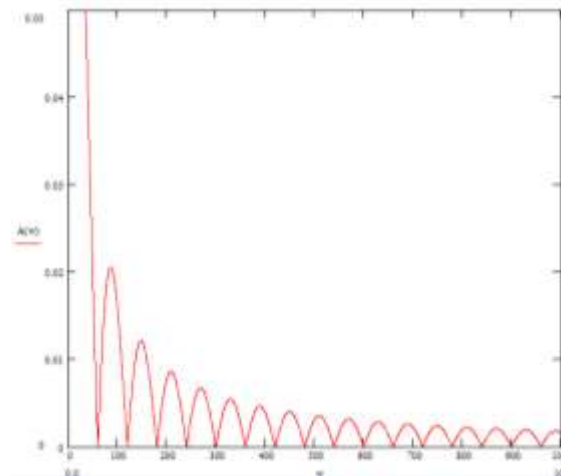
Графіки залежностей дійсної та уявної складових характеристики поздовжнього точіння



амплітудо-частотної характеристики процесу поздовжнього точіння



фазово-частотної характеристики



Моделювання вібраційної усталеності процесу точіння валів із сталі 60 різцями з твердосплавними пластинами

Математична модель побудови АФЧХ

$$W_p = \frac{P_{aoy}}{y} = W_p^1 \cdot W_{oyz}$$

$$W_p^1 = \frac{K_p}{1 + T_p^2 \cdot \omega^2} + i \cdot \frac{K_p \cdot T_p \cdot \omega}{1 + T_p^2 \cdot \omega^2}$$

$$W_{oyz} = 1 - T_{\alpha\beta z}^2 \cdot \omega^2 + i \cdot T_{\alpha\gamma z} \cdot \omega$$

Вхідні дані

$$V_1 = 20 \text{ м/хв}; \quad V_2 = 32 \text{ м/хв}; \quad V_3 = 50 \text{ м/хв}; \quad V_4 = 62 \text{ м/хв}; \quad V_5 = 81 \text{ м/хв}$$

$$\text{При: } D = 40 \text{ мм}$$

$$\eta_1 = 1620 \text{ об/хв};$$

$$\eta_2 = 2600 \text{ об/хв};$$

$$\eta_3 = 4050 \text{ об/хв};$$

$$\eta_4 = 4950 \text{ об/хв};$$

$$\eta_5 = 6500 \text{ об/хв};$$

$$S = 0,8 \text{ мм}$$

$$t = 4 \text{ мм}$$

$$\gamma = 0^\circ;$$

$$\alpha = 8^\circ;$$

$$\varphi = 0^\circ;$$

$$\varphi_1 = 45^\circ;$$

$$z = 1 \text{ мм};$$

$$a = 0,3 \text{ мм};$$

$$\beta = 1,4;$$

$$\frac{m}{n} = 1;$$

$$K_\gamma = 4,0;$$

$$K_\alpha = -10^3;$$

Результуючі характеристики

Характеристика W_{oyz}

$$W_{oyz1} = 1 + \frac{1,62 \cdot 12560^2}{20 \cdot 10^6} + i \cdot \frac{0,072 \cdot 12560}{20} = 13,778 + 45,22i;$$

$$W_{oyz2} = 5,98 + 28,26i;$$

$$W_{oyz3} = 3,05 + 18,08i;$$

$$W_{oyz4} = 2,37 + 14,58i;$$

$$W_{oyz5} = 1,78 + 11,16i;$$

$$W_{oyz6} = 13,78 + 37,68i;$$

$$W_{oyz7} = 5,98 + 16,96i;$$

$$W_{oyz8} = 3,05 + 2,51i;$$

$$W_{oyz9} = 2,37 - 31,4i;$$

$$W_{oyz10} = 1,78 - 276,75i;$$

Повна динамічна характеристика процесу різання

$$W_{p1} = 233,22 - 55,25i;$$

$$W_{p2} = 233,24 - 55,14i;$$

$$W_{p3} = 234,06 - 2,48i;$$

$$W_{p4} = 234,99 + 7,59i;$$

$$W_{p5} = 236,38 + 21,92i;$$

$$W_{p6} = 195,07 - 57,67i;$$

$$W_{p7} = 141,94 - 34,41i;$$

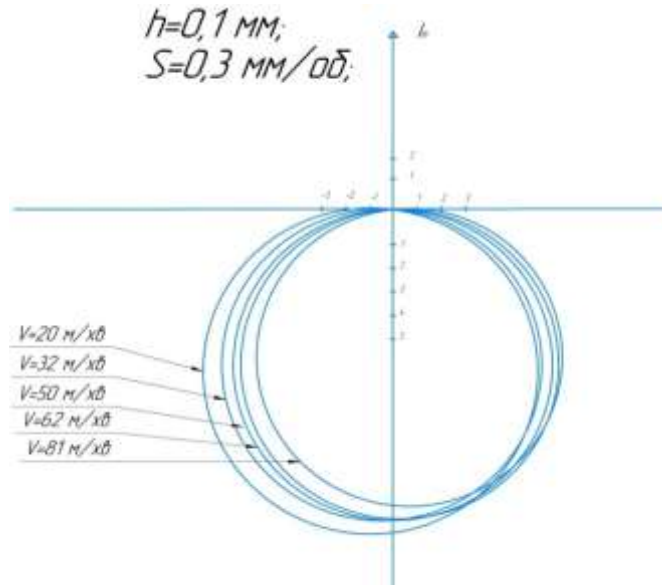
$$W_{p8} = 33,72 - 33,47i;$$

$$W_{p9} = -488,22 - 133,10i;$$

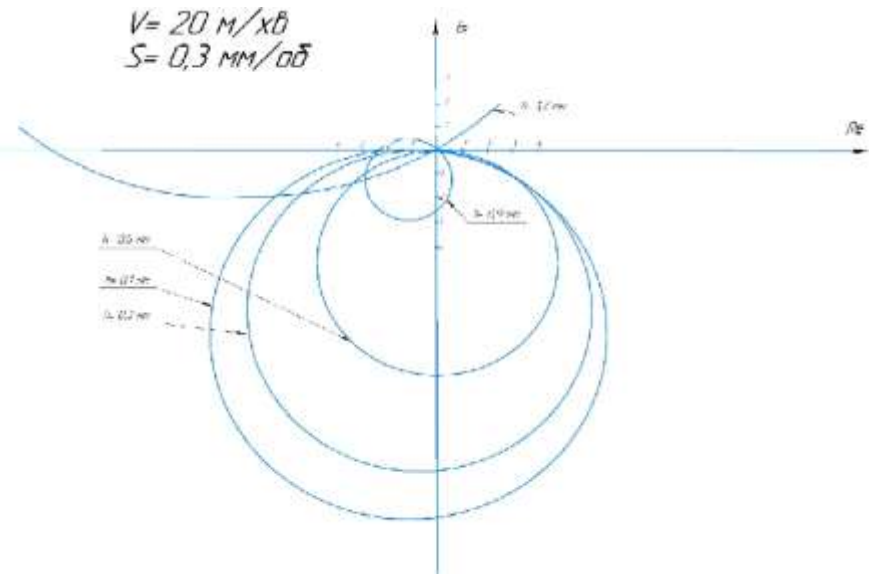
$$W_{p10} = -5626,66 - 1479,13i;$$

Результати моделювання АФЧХ для оцінки вібраційної усталеності процесу поздовжнього точіння

Значення АФЧХ процесу точіння при варіюванні швидкостей різання



АФЧХ процесу поздовжнього точіння при зміні величини зношення різальних пластин



1. Аналіз показує, що у даному випадку доцільно проводити вибір оптимальних параметрів режиму обробки, виходячи з умови найбільш раціональної експлуатації різців з твердосплавними багатограними непереточувальними пластинами.
2. Оптимальний показник швидкості різання $50 \dots 80 \text{ м/хв}$.
3. Максимальна величина зносу грані пластини по задній поверхні $0,6 \dots 0,7 \text{ мм}$, після чого із умови раціональної роботи інструменту потрібно ввести в роботу нову грань.

Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень

Показник ефективності технологічного процесу - приведені витрати

$$\Pi_3 = (E_n K + C_2 P) + PC_1$$

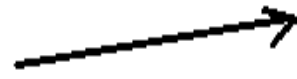
Варіантна оптимізація має вигляд

$$\min_{1 \leq j \leq J} [(E_n K_j + C_2 P) + PC_{0j}]$$

Варіанти технологічного процесу

Номер операції	$i=1$ (звична обробка)	$i=1$ (обробка з врахуванням вібраційної усталеності)
$m=1$	$j=1; 2$	$j=3; 4$
$m=2=M$	$j=1; 3$	$j=2; 4$

Оптимальний варіант $j=2$



Таблиця. Критерії оптимальності технологічного процесу

Параметр операції	Значення параметра для операцій, грн		Параметр технологічного процесу	Значення параметра, грн	Критерій оптимальності, грн
$K_{1,m}$	0	0	K_1	0	140000
$C_{21,m}$	2,0	2,0	C_{21}	4,0	
$C_{01,m}$	4,0	6,0	C_{01}	10,0	
$K_{2,m}$	0	60000	K_2	60000	122000
$C_{22,m}$	2,0	2,0	C_{22}	4,0	
$C_{02,m}$	3,0	4,0	C_{02}	7,0	
$K_{3,m}$	60000	0	K_3	60000	130000
$C_{23,m}$	2,0	2,0	C_{23}	4,0	
$C_{03,m}$	3,8	4,0	C_{03}	7,8	
$K_{4,m}$	60000	60000	K_4	120000	132000
$C_{24,m}$	2,0	2,0	C_{24}	4,0	
$C_{04,m}$	3,4	3,4	C_{04}	6,8	

Дослідження вібраційної усталеності процесу точіння
валів із сталі 60 різцями з твердосплавними
непереточуваними пластинами
(кваліфікаційна робота на здобуття ступеню магістр)

ДЯКУЮ

УДК 621.9.06

С.В. Повх, студент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Науковий керівник: І.В. Луців, д.т.н., проф.

**ВІБРАЦІЙНА УСТАЛЕНІСТЬ ПРОЦЕСУ ТОЧІННЯ ЯК ЕЛЕМЕНТУ
ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ВЕРСТАТУ**

S.V. Povkch, student

Scientific adviser: I.V. Lutsiv, Dr., Prof.

**VIBRATION STABILITY OF TURNING PROCESS AS AN ELEMENT
OF MACHINE DYNAMICAL SYSTEM**

Металорізальні верстати часто характеризують якістю їх динамічних систем. Така система у спрощеному вигляді складається з коливної ланки, а саме пружної системи, і аперіодичної ланки, що характеризує процес різання. Залежно від значень параметрів така динамічна система може бути стійкою або ж нестійкою [1]. При періодичній нестійкості динамічної системи у верстаті виникають автоколивання.

Аналіз динамічної усталеності систем найбільш зручно проводити за амплітудно – фазовими частотними характеристиками системи, використовуючи амплітудно – фазовий критерій усталеності Найквіста. Для цього потрібно побудувати амплітудно – фазову частотну характеристику (АФЧХ) розімкнутої системи верстату.

АФЧХ зазвичай визначається розрахунковим шляхом, якщо використовувати характеристики передатної функції динамічної системи верстату. Якщо розглядати послідовному з'єднання ланок, то передатна функція динамічної системи дорівнює добутку передатних функцій ланок.

Для власне процесу різання динамічна характеристика в частотній формі має вигляд [2]:

$$W_p = \frac{P_{aay}}{y} = W_p^1 \cdot W_{aay} \quad W_p^1 = \frac{K_p}{1 + T_p^2 \cdot w^2} + i \cdot \frac{K_p \cdot T_p \cdot w}{1 + T_p^2 \cdot w^2} \quad W_{aay} = 1 - T_{apz}^2 \cdot w^2 + i \cdot T_{aay} \cdot w \quad (1)$$

де w - кругова частота 1/с; K_p - коефіцієнт різання, Н/м; T_p - постійна часу стружкоутворення, с; T_{apz} - постійна часу, що характеризує вплив заднього кута різця, с; T_{aay} - постійна часу, що визначає в тому числі вплив переднього кута різця, с.

Вираз (1) показує, що сила різання відстає по фазі від зміни товщини зрізаного шару, тобто, що сила різання виконує роботу, яка йде на пробудження коливань.

Уявимо, що динамічну систему верстату можна представити системою із одним ступенем вільності. Тоді передатну функцію пружної системи в частотній формі представляють у вигляді [3]:

$$W_{yc} = \frac{K_{yc}}{1 - T_1^2 \cdot w^2 + i \cdot T_2 \cdot w} \quad (2)$$

де K_{yc} - податливість пружної динамічної системи верстату, м/Н, T_1 - інерційна постійна часу, с; T_2 - постійна часу демпфування, с;

$$T_2 = \frac{\lambda}{\pi} \cdot T_1,$$

де λ - логарифмічний декремент затухання, який визначається за циклограмами вільних коливань, що затухають.

Амплітудно – фазові частотні характеристики ланок системи будуються в комплексній площині по передатній функції ланки таким самим шляхом, як і характеристика динамічної системи [4].

Нами проаналізований аналіз усталеності динамічної системи різання з врахуванням впливу швидкості різання і зносу різця, спорядженого твердосплавною пластиною. При цьому використовувались такі дані для діаметру обробки сталі 60 діаметром заготовки 40мм:

а) значення швидкостей різання – $V=20; 32; 50; 62; 81$, м/хв; б) число обертів шпинделя – $n=162; 260; 405; 495; 650$, об/хв.; в) параметри процесу різання та інструменту - $S=0,3$ мм/об; $t=4$ мм; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\varphi = 0^\circ$; $\varphi_1 = 45^\circ$; $z=1$ мм; $a=0,3$ мм; г) зношення різця $h=0,1$ мм.

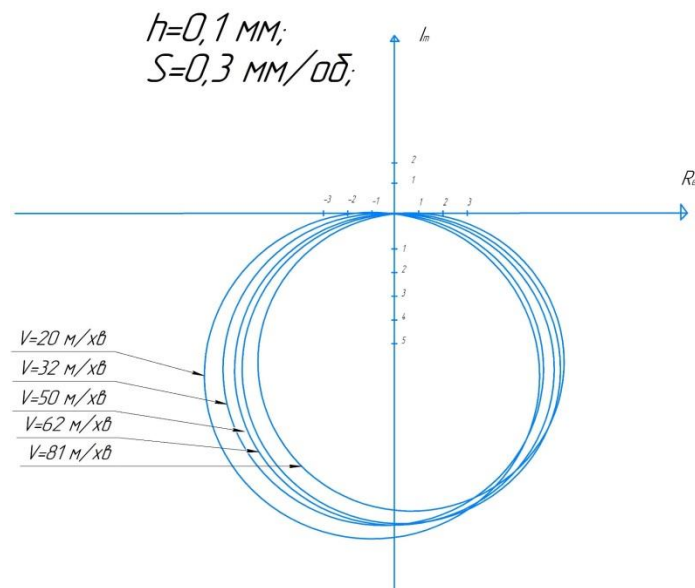
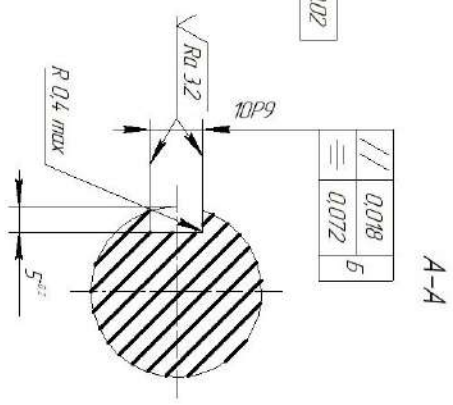
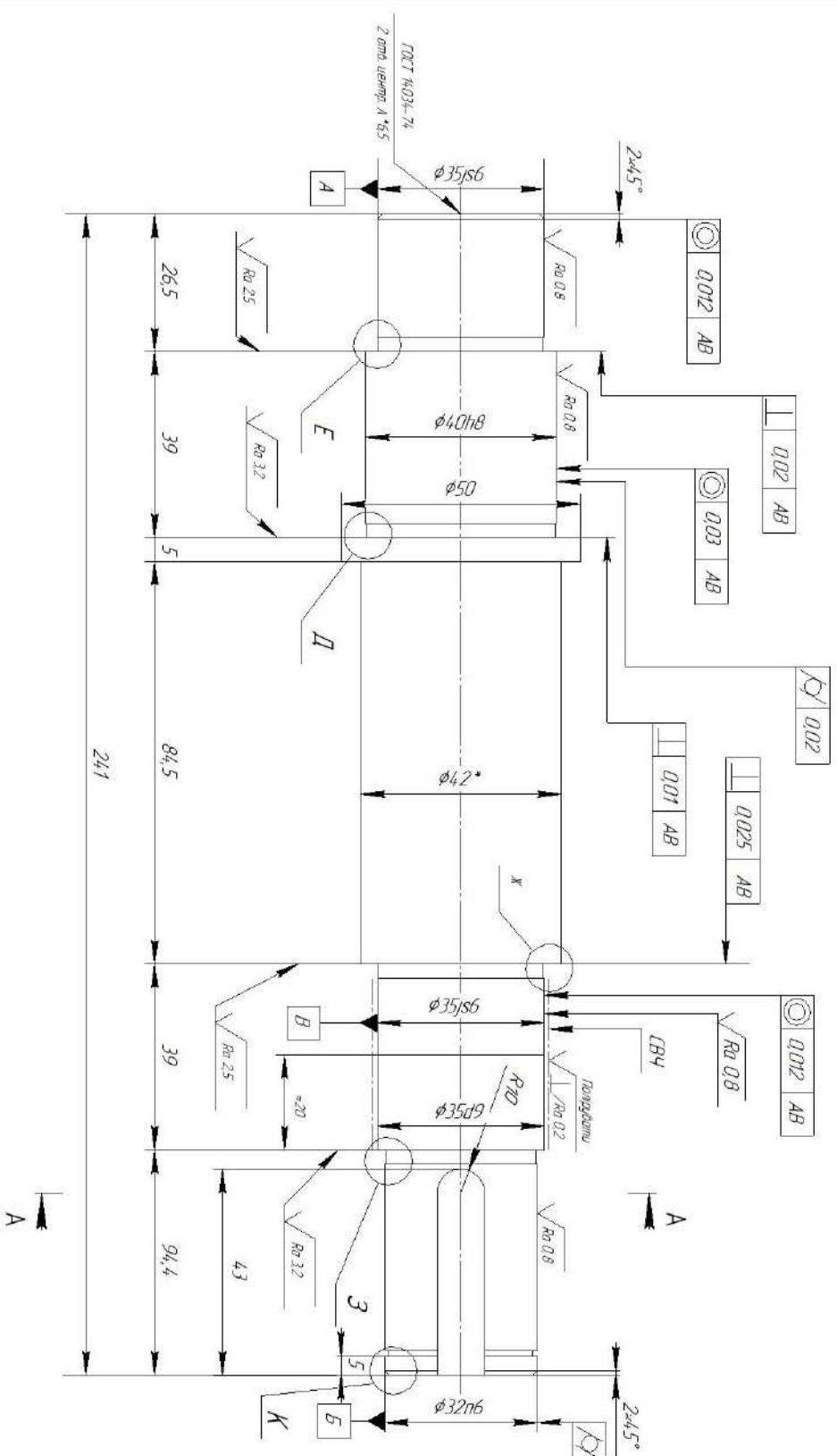


Рис. 1. Графіки залежностей вібраційної усталеності процесу точіння як елемента динамічної системи верстату

Таким чином, нами розраховані закономірності динамічної поведінки системи верстату і власне вібраційної усталеності процесу точіння на прикладі обробки валів різцями з непереточуваною твердосплавною пластиною. Можна зробити висновок, що доцільно проводити вибір оптимальних параметрів режиму обробки, виходячи з умови найбільш раціональної експлуатації різців. Доцільні величини швидкості різання - 50...80м/хв. В результаті досліджень також показано, що з точки зору вібраційної усталеності процесу не слід допускати зношення різального леза більшу 0,6 мм, після цього слід переходити на іншу грань.

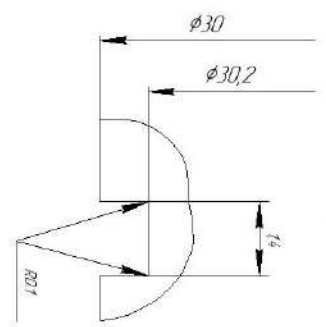
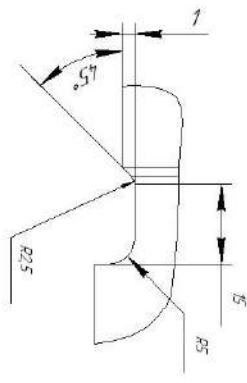
Література.

1. Кудинов, В.А. Динамика станков /В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359с.
2. Кедров, С.С. Колебания металлорежущих станков /С.С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199с.
3. Попов В.И., Локтев В.И. Динамика станков. – К.: Техніка, 1975. – 136 с.
4. Луців, І.В. Аналіз частотними методами динамічної стійкості багатолезової самоналагоджувальної обробки / І.В. Луців //Вісник Тернопільського державного університету, 1999, т.4, №1 с.97-103.



Е, Д ЖО,З О,15/1

К (10:1)

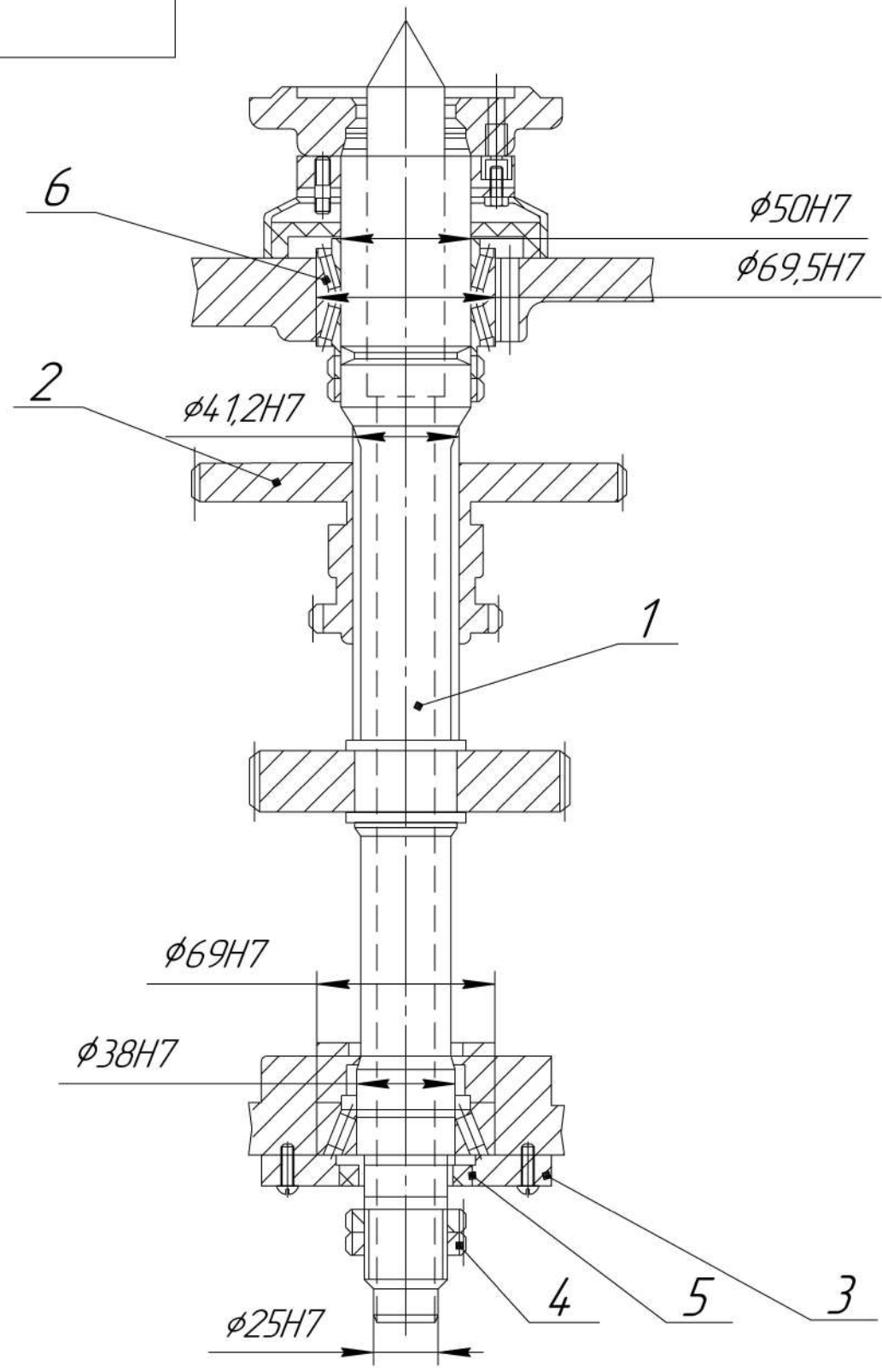


1. Не менее 2x0.2 мм армированных поверхностей.
2. Подборные детали должны быть обработаны до класса точности 4.5. СМНЭС и 15.20мм
3. Резьба заделана наглухо
4. Не являются окончательными размеры, откорректированы по НЧ, даны по НЧ, решение по д.174/22

№	Имя	Фамилия	Дата	Подпись
1	Вин		5.45	12
Сталь 60 ГОСТ 1050-88				
НПЗ им. Луначевского				
ЗД МЭМ-61				

КОМПАС-3D v17.1 Учебная версия © 2017 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.
---------------	----------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Повх С. В.		
Пров.		Луцив І. В.		
Т.контр.				
Н.контр.		Ярема І. Т.		
Утв.		Кабельник В. Р.		

Шпindelный вУзол

Лит.	Масса	Масштаб
		1:2
Лист	Листов	1
ТНТУ ім. І. Пулюя, ФМТ, гр. МВНМ-61		

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
						<u>Складальні одиниці</u>		
Справ. №		A3				Шпиндельний вузол	1	
						<u>Деталі</u>		
				1		Шпиндель	1	
				2		Зубчастий блок	1	
				3		Кришка	1	
				5		Радіально-упорний підшипник	1	
				6		Несуча опора	2	
						<u>Стандартні вироби</u>		
				4		Гайка M12 x 6 ГОСТ5915-70	2	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<h2>Шпиндельний вузол</h2>	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Повх С. В.							1
Пров.	Луців І. В.					ТНТУ, ім. І. Пулюя, ФМТ, гр. МВнм-61		
Н.контр.	Ярема І. Т.							
Утв.	Кабельник В. Р.							