

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра (Машинобудування, транспорту і зварювання)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

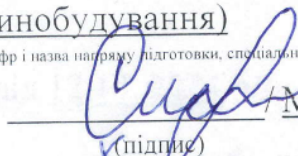
Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення
ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування

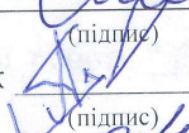
зусиллям різання

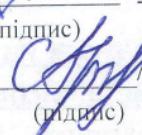
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг
спеціальності: 015.34 Професійна освіта
(Машинобудування)

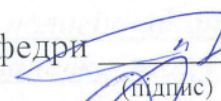
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

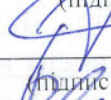
 / Михайло СІТЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник  / Олександр ПЕРМЯКОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  / Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  / Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  / Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)

Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

О.Л. Подоляк

“12” жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Михайлу СІТЧЕНКО

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллям різання

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.

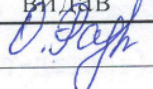
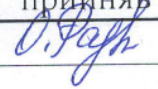
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “6” грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі типу «гайка» Схеми компоновки агрегатних верстатів із системою автоматичного керування, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Конструкторсько-технологічний аналіз агрегатних систем для обробки деталей типу «гайка». Постановка задач дослідження. Розробка технологічного оснащення групової операції обробки деталі. Розробка автоматичної системи регулювання зусиллям різання агрегатного верстата. Аналіз економічного ефекту від впровадження автоматичних систем. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки..

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів): Конструкторсько-технологічний аналіз агрегатних систем для обробки деталей типу «гайка». Постановка задач дослідження. Розробка технологічного оснащення групової операції обробки деталі. Розробка автоматичної системи регулювання зусиллям різання агрегатного верстата. Висновки.

6. Консультант:

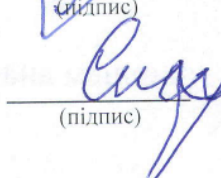
Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Олександр РАДКЕВИЧ			

7. Дата видачі завдання « 12 » жовтня 2024 р.

Керівник


 Олександр ПЕРМЯКОВ
 (підпис) (ім'я, прізвище)

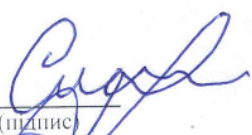
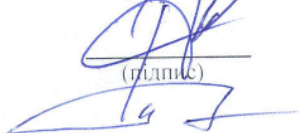
Завдання прийняв до виконання


 Михайло СІТЧЕНКО
 (підпис) (ім'я, прізвище)
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.	05.09.24	
2.	Складання плану роботи. Підбір літератури й інших джерел	06.09.24	
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи	11.09.24	
4.	Підготовка аналітичної частини	23.09.24	
5.	Підготовка теоретичної частини	08.10.24	
6.	Розробка дослідницької частини	21.10.24	
7.	Розробка методичного розділу	30.10.24	
8.	Підготовка графічного матеріалу	08.11.24	
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника	13.11.24	
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів	19.11.24	
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.	27.11.24	
12.	Захист кваліфікаційної роботи	10.12.24	

Здобувач вищої освіти

Нормоконтроль


 (підпис)

 (підпис)
Михайло СІТЧЕНКО
(ім'я, прізвище)Антон СКОРПІН
(ім'я, прізвище)

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллям різання

(назва роботи)

студента

СІТЧЕНКО Михайло Анатолійович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Пермяков Олександр Анатолійович.

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 12,52,

Коефіцієнт Подібності 2: 7,76 ,

Сигнал „Тривога!": ☒ – немає; ☐ – є, кількість разів у тексті ____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 20% – оригінальна робота,

від __% до __% – задовільно оригінальна робота,

від __% до __% – умовно оригінальна робота,

більше __% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

☒ оригінальна,

☐ задовільно оригінальна,

☐ умовно оригінальна,

☐ неоригінальна.

Висновок:

☒ робота може бути допущена до захисту,

☐ необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор

А
(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

25.11.24
(дата)

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;

ВПД – (верстат-пристосування-інструмент-деталь).

Г АВ – гнучке автоматизоване виробництво;

год. – години;

грн. – гривні;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

мм – міліметр;

ЗОТС – змащувально-охолоджуюче технологічне середовище;

об – оберти;

од. – одиниці;

п/п – по порядку;

рис. – рисунок;

табл. – таблиця;

САК – система автоматичного керування;

САПР – автоматизована система проектування;

ТП – технологічний процес;

ТСМОР – технологічна система механічної обробки різанням;

хв. – хвилина;

ЧПК – числове програмне керування;

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається із вступу, п'яти розділів, висновку й переліку використаної літератури, містить 127 сторінок машинописного тексту, ____ таблиць, ____ рисунка.

Дана робота спрямована на зменшення і усунення помилок технологічних режимів робіт (стабілізація швидкості різання), запобігання защемленню різального інструменту, а також створення нового агрегатного станку з адаптивною системою управління. Система, розроблена тут, має конструктивно нові рішення (створена автоматична система керування при безперервній обробці), що забезпечує постійність швидкості подачі інструмента, яка стає актуальною при обробці деталей. Спроектовано пристосування по безперервному нарізанню гайок. Система автоматичного регулювання, розроблена в даній роботі, здатна відповідати вимогам заданої точності, що пред'являються до оброблених деталей.

У методичній частині магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання» з дисципліни: «Системи автоматизованого проектування в машинобудуванні» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», були сформульовані оперативні цілі семінару, обраний тип та форма проведення семінару, визначений перелік питань для обговорення, сформульована мотивація для зацікавленості студентів у вивченні теми, проаналізовані базові умови навчання з теми, обрані та проаналізовані джерела інформації для підготовки до семінару, описані критерії оцінювання доповідей студентів на семінарі та розроблений сценарій проведення семінарського заняття з теми.

Ключові слова: АГРЕГАТНИЙ ВЕРСТАТ, ТЕХНОЛОГІЧНА СИСТЕМА, ШВИДКІСТЬ РІЗАННЯ, СТАБІЛІЗАЦІЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ДИНАМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

ABSTRACT

An explanatory note consists of an introduction, five chapters, a conclusion and a list of used literature, contains 127 pages of typed text, ____ tables, ____ figures.

This work is aimed at reducing and eliminating the errors of the technological modes of operation (stabilization of the cutting speed), preventing the jamming of the cutting tool, as well as the creation of a new aggregate machine with an adaptive control system. The system developed here has a constructive new solution (an automatic control system with continuous processing is created), which ensures the constant speed of the tool feed, which becomes relevant in the processing of parts with a constant "stepping" requirement. The device for continuous cutting of nuts is designed. The automatic control system developed in this work is capable of answering the requirements of the specified accuracy given to the machined parts.

In the methodological part of the master's qualification work, methodological guidelines were developed for conducting a seminar on the topic "Peculiarities of increasing the efficiency of an assembly machine due to automatic control of cutting forces" from the discipline: "Systems of automated design in mechanical engineering" for students of the specialty "Professional education. Mechanical Engineering", the operational goals of the seminar were formulated, the type and form of the seminar was chosen, a list of issues for discussion was determined, the motivation for students' interest in studying the topic was formulated, the basic conditions of learning on the topic were analyzed, sources of information for preparation for the seminar were selected and analyzed, the criteria were described evaluation of students' reports at the seminar and a developed scenario for holding a seminar class on the topic.

Keywords: AGGREGATE MACHINE TECHNOLOGICAL SYSTEM, CUTTING SPEED, STABILIZATION, MATHEMATICAL MODELING, DYNAMIC CUTTING PROCESS

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ	10
1.1 Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку	10
1.2 Професійна підготовка фахівців машинобудівної галузі	15
1.3 Висновки до розділу 1	19
2. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	20
2.1 Перспективи розвитку	20
2.2 Класифікація агрегатних верстатів.....	24
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВЕРСТАТА	28
3.1 Загальна схема	28
3.2 Розробка кінематичної схеми верстата	29
3.3 Проектування коробки швидкостей	30
3.3.1 Розрахунок режимів різання	30
3.3.2 Визначення числа щаблів коробки швидкості	31
3.3.3 Потужність двигуна	31
3.3.4 Кінематичний розрахунки коробок швидкостей	32
3.3.5 Проектні розрахунки валів	34
3.3.6 Визначення параметрів зубчастих коліс	36
3.3.7 Розрахунки валів	38
3.3.8 Розрахунки шпинделя	50
3.3.9 Розрахунки механізму перемикання швидкостей	56
3.3.10 Розрахунки муфт	58
3.4 Система змащення у верстаті	60
4. РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЗУСИЛЛЯМ РІЗАННЯ АГРЕГАТНОГО ВЕРСТАТА.....	61
4.1 Опис схеми САК	61
4.2 Математичні моделі окремих елементів і ланок САК	62

4.2.1.	Технологічний процес	62
4.3	З'єднання ланок	78
5.	РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ	70
5.1.	Розрахунки величини капітальних вкладень	80
5.2	Розрахунки технологічної собівартості виготовлення виробу	83
5.3	Методи розрахунків показників ефективності нової техніки й технології	87
6.	МЕТОДИЧНИЙ РОЗДІЛ (МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ СЕМІНАРУ НА ТЕМУ «ОСОБЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРЕГАТНОГО ВЕ- РСТАТА ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЗУСИЛЛЯМИ РІЗАННЯ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ».....)	91
6.1	Постановка оперативних цілей семінару	92
6.2	Вибір типу семінару і форми його проведення	93
6.3	Визначення переліку питань для обговорення та джерел інформації при підготовці до семінару	95
6.4	Проектування мотиваційних технологій навчання студентів на семінарі	96
6.5	Аналіз базових умов навчання	98
6.6	Проектування основної частини реферативного семінару.....	98
6.7	Висновки до методичної частини	104
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	105
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	106
	ДОДАТОК А (ПЛАКАТИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ)	109

ВСТУП

Місце країни на світових ринках багато в чому залежить від якості продукції, що випускається, від обсягів і затрачуваних засобів. Для конкурентоспроможності необхідне поліпшення якості й зниження інших показників. Ці вимоги можливо досягти поліпшенням засобів виробництва - модернізація наявних, проектуванням і конструювання нових металорізальних верстатів зростаючим вимогам, що відповідають.

Створення сучасних, точних і високопродуктивних металорізальних верстатів обумовлює підвищені вимоги до їхніх основних вузлів. Зокрема, до приводів головного руху й подач пред'являються вимоги: по збільшенню твердості, підвищенню точності обертання валів, шпиндельних вузлів. Верстати повинні забезпечувати можливість високопродуктивного виготовлення без ручного наступного доведення деталей, що задовольняють сучасним безупинно зростаючим вимогам до точності

Агрегатними називають багатоінструментальні верстати, скомпоновані з нормалізованих і частково спеціальних агрегатів. Ці верстати застосовуються в великосерійному і масовому виробництві. На агрегатних верстатах можна виконувати свердління, розсвердлювання, зенкування, розточування, фрезерування, нарізування внутрішніх і зовнішніх різьб, деякі види токарської обробки. Агрегатні верстати в основному використовуються для виготовлення корпусні деталей [30].

Переваги агрегатних верстатів:

- 1) короткі строки проектування;
- 2) простота виготовлення, завдяки уніфікації вузлів, механізмів і деталей;
- 3) висока продуктивність, обумовлена багатоінструментальною обробкою заготовок з декількох сторін одночасно;
- 4) можливість багаторазового використання частини агрегатів при зміні об'єкта виробництва;
- 5) можливість обслуговування верстатів операторами низької кваліфікації.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

1.1. Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку

Машинобудівні технології - один із найстаріших напрямів підготовки дипломованих спеціалістів, однак, у сучасних умовах, орієнтованих на підвищення якості навчання, актуальність нових методів проектування змісту освіти на основі компетентнісно-орієнтованого підходу очевидна.

Аналіз Державного освітнього стандарту вищої професійної освіти фахівців машинобудівної галузі показав, що інженеру необхідно бути професіоналом у таких питаннях, як автоматизована обробка даних, автоматизація управління виробництвом, підприємством, автоматизоване проектування, моделювання, розробка оптимальних технологій виготовлення деталей машин, використання інформаційних технологій для розрахунків параметрів технологічних процесів тощо.

Однак, майбутньому спеціалісту необхідні не тільки міцні знання з дисциплін, що вивчаються, але і вміння оперативно реагувати на запити дійсності, що динамічно змінюється. Основне завдання дидактики в даний час полягає не тільки в тому, щоб повідомляти студентам певний обсяг знань, а й наділяти їх готовністю та здатністю самостійно діяти при вирішенні проблеми, що виникає, використовуючи наявний обсяг інформації та набуті знання, тобто готувати не тільки кваліфікованого, а й компетентного спеціаліста.

Потреба у професіоналах технічних спеціальностей, які вміють грамотно застосовувати інформаційні технології на вирішення спеціалізованих завдань, велика. Знання, набуті внаслідок застосування інформаційних технологій, дозволяють розвивати логічне мислення, вчать застосовувати нестандартні методи підходу до вирішення поставлених

завдань, показують необхідність самовдосконалення. Знання стратегії автоматизації свого робочого місця дозволяє розробляти принципово нові методики роботи та застосовувати комп'ютер та програмне забезпечення у вузьких галузях професійної діяльності.

Як було сказано вище, одним з основних факторів, що визначають стан машинобудування в країні є рівень підготовленості кадрів, адже саме він визначає науково-технічний прогрес, рівень розвитку науки і техніки у країні.

Висококваліфікований персонал бере участь у створенні нової та вдосконаленні вже існуючої техніки та технології; створення та використання нових видів сировини, палива, енергії та матеріалів; освоєння нової та вдосконалення продукції, що випускається раніше, підвищення її якості.

В Україні її 54% людей віком від 25 до 64 років мають вищу освіту. При цьому інженерні напрямки підготовки та спеціальності до 2015 року перевищили 50% від загального обсягу контрольних цифр прийому. Це означає, що зараз немає проблеми кількісного дефіциту інженерних кадрів.

15 липня 2016 року Всеукраїнський центр вивчення громадської думки опублікував підсумки всеросійського опитування молодих фахівців, роботодавців та всього дорослого населення (вибірка 1,6 тис. людина). Згідно з результатами опитування, багато хто роботодавці скаржаться на брак практичних навичок у випускників російських вишів.

Таку оцінку поділяють і 56% випускників. З теоретичною підготовкою справи трохи краще: її нестачу відчуває лише чверть молодих фахівців, більшість же вважає свої теоретичні знання достатніми. У низькому рівні теоретичних знань упевнена майже половина роботодавців. Лише 1% наймачів готовий оцінити навички молодих співробітників «дуже високо». Самі молоді фахівці оптимістичніші: 48% з них вважають, що університетські роки дали їм «досить високий» рівень освіти. 55% роботодавців та 56% населення країни оцінюють якість підготовки випускників українських ЗВО як середнє.

Усі опитані позитивно оцінили тенденцію до зростання кількості фахівців з науково-технічних спеціальностей: 40% респондентів виявили бажання, щоб їхні діти отримали технічна освіта. Тенденцію до зростання популярності технічних спеціальностей позитивно оцінює більшість опитаних росіян (65%), більше половини молодих фахівців (58%) та переважна частина роботодавців (82%). При цьому 34% опитаних вважають, що сама наявність вищої освіти важливіша, ніж її профіль.

Роль інженера в сучасному світі також визначається все більш ускладнюється взаємозв'язком технічних, соціальних та економічних завдань. Сучасне суспільство чекає від інженерів вирішення суперечностей, що поглиблюються, між підвищенням якості життя, стійким розвитком та питаннями безпеки, здоров'я, збереження навколишнього середовища.

Щоб відповісти на виклики глобалізації та високої конкуренції на міжнародному ринку товарів та послуг, інженери покликані не лише вирішувати традиційні технічні завдання, а й повинні бути здатні до інновацій, розуміти економічний контекст інженерної діяльності, мати міждисциплінарні навички, комунікативні компетенції, лідерськими якостями, а також адаптуватися до умов, що змінюються, і виявляти готовність до безперервного навчання.

Проте студенти вчасно не отримують необхідної інформації щодо ситуації на ринку праці, вчаться наосліп і після випуску змушені перекваліфікуватися за спеціальності в Україні працює лише 35–40% випускників. Ринок праці та освіти виявилися не в змозі узгоджувати можливості професійної освіти та потреби виробництва, тим більше в галузі інноваційних, проривних технологій, яких потребує машинобудівного комплексу. Це виявилось у невідповідності обсягів, структури та змісту підготовки фахівців перспектив розвитку високотехнологічних виробництв.

Нове обладнання та нові технології вимагають нової якості праці. До 2000-х років у розвинених країн вже було створено досить великий інструментарій підтримки зайнятості у пріоритетних галузях промисловості

(включаючи машинобудування), що поєднують як заходи держпідтримки, і розвинені корпоративні інститути. У більшості розвинених країн основний акцент у підтримці ринку праці зроблено на забезпечення привабливих умов для підготовки кадрів. Такий підхід багато в чому пов'язаний із досить високою вартістю підготовки спеціалістів для галузей машинобудування. Так, вартість підготовки фахівців для галузі майже вдвічі вища за вартість навчання в середньому з економіки, насамперед через необхідності використання сучасного обладнання у процесі навчання, підвищеної аудиторного навантаження (у порівнянні, наприклад, з більшістю гуманітарних спеціальностей).

Саме через цей фактор у більшості країн з високорозвиненим машинобудуванням вкрай значима роль держави й у регулюванні освітнього ринку (оцінка якості підготовки фахівців проводиться централізовано), та у фінансуванні освітніх програм.

Крім того, держави використовують систему грантів і персональних стипендій талановитих студентів, надання гарантованих кредитів для отримання освіти. Ці заходи дозволяють підтримувати як освітній сектор, так і створювати привабливі умови для здобуття освіти та припливу нових кадрів у пріоритетні галузі, до числа яких належить і машинобудування. Крім прямої бюджетної підтримки у низці країн використовуються й інші механізми стимулювання корпоративної освіти: у Німеччині та Японії таким компаніям надають податкові пільги, у ряді держав (Франція, Південна держава зобов'язує компанії фінансувати освітні програми для працівників (у частині підвищення кваліфікації)). Аж до недавнього часу корпоративні школи та інститути були орієнтовані, в основному, на підвищення кваліфікації та перепідготовку чинних працівників. Однак останніми роками в Німеччині та в ряді інших країн позначилася тенденція на активнішу участь компаній у первинній підготовці персоналу. Так, у Німеччині федеральний уряд почав виділяти кошти компаніям навчання робітників безпосередньо на підприємствах (т.ч. «учнівство»), розташованих у регіонах із відносно

високим рівнем безробіття. Причому, за оцінкою багатьох роботодавців, така форма здобуття освіти при підготовці кваліфікованих робітників є більш ефективною, ніж традиційне навчання у державних навчальних закладах.

Ситуація із забезпеченням кадрами в Україні дуже відрізняється стану ринку праці як розвинених, так і найбільших країн. Україна продовжує залишатися однією з провідних країн за чисельністю персоналу у важкому машинобудуванні – у 2010 році у галузі було зайнято близько 175 тис. Чоловік. Це третє місце у світі після КНР та США. Однак усі разом вони забезпечили приблизно такий самий випуск продукції, як одна компанія Danieli з 8 тис. працівників. За рівнем продуктивності Україна, на жаль, почала відставати не лише від провідних розвинених країн (тут розрив досягає 7-9 разів), але і від китайських компаній, які в останні роки активно вкладали у придбання нового обладнання, отримали масовану підтримку від держави щодо захисту внутрішнього ринку, кадрового забезпечення та ін. В результаті провідні китайські компанії за рівнем продуктивності випереджають українські підприємства у 2-3 рази, хоча ще 20 років тому співвідношення було зворотним. Причин української низької продуктивності українських компаній багато. Одна з Основних - низьке завантаження виробничих потужностей. В результаті питомі постійні витрати в Україні виявляються значно вищими, ніж у більшості розвинених країн і КНР, де рівень використання виробничих потужностей сягає 75-85%.

Однак не менш важливим фактором низької продуктивності є і якість людського капіталу, адже середній вік працівників на більшості підприємств галузі перевищує 50 років. У міру виходу на пенсію людей, які прийшли на заводи у 1970-ті роки (а це відбудеться вже протягом найближчих 10 років), галузь може відчути серйозний дефіцит кадрів.

1.2. Професійна підготовка фахівців машинобудівної галузі

Одна з проблем, що стримують інтенсивний розвиток інноваційної діяльності, пов'язана з нестачею кваліфікованих кадрів, здатних здійснювати процеси впровадження інноваційних розробок у реальний сектор економіки. Оскільки підготовка професійних кадрів є сферою відповідальності органів управління системою професійної освіти регіону, необхідно говорити про цю підготовку з позицій озвучених завдань, а саме готувати професіоналів для роботи на інноваційних виробництвах.

З метою визначення стратегічних напрямів підготовки було проведено дослідження довгострокових перспектив розвитку високотехнологічних виробництв машинобудування на підприємствах України. Вибір як об'єкт дослідження машинобудівного виробництва був зумовлений як структурою економіки регіону, де воно займає провідні позиції, так і обсягами підготовки в системі професійної освіти за напрямом «Машинобудування».

Необхідно відзначити, що відповідно до завдань дослідження для аналізу використовувалися не всі професії та спеціальності, а лише ті, які вимагають середньої професійної освіти за напрямом «Машинобудування» програм навчання кваліфікованих робітників (ППК-РС) та програм підготовки фахівців середньої ланки (ППССЗ).

Одне із завдань дослідження стосувалося виявлення нових професій, які можуть з'явитися в машинобудівному виробництві у зв'язку з розвитком нових технологій. Звертаючись до експертів, ми насамперед хотіли почути їхні креативні міркування щодо цього питання. Однак, усвідомлюючи складність поставленого завдання, ми запропонували респондентам певні приклади, які можна використовувати як базові зразки. Джерелом інформації для даного списку послужив "Атлас нових професій", складений фахівцями Московської школи управління "Сколково" та Агентством стратегічних ініціатив [1]. Отримані результати підтвердили висловлені припущення: більшість експертів вважали за краще діяти в зазначеному полі і скористатися тим

переліком, який був в інструментарії, проте при подальшому обговоренні окремі фахівці все ж таки змогли сформулювати ще кілька нових професій.

Найчастіше респонденти називали професії, безпосередньо пов'язані з виробничим циклом та обладнанням: супервайзер обладнання та фахівці з робототехніки. Важливим напрямом також є утилізація та вторинна переробка матеріалів, обладнання. Питаннями багаторазового використання матеріалів, а також розробкою технологій безвідходного виробництва займаються технологи та інженери рециклінгу. Потім йдуть професії, пов'язані з різними матеріалами: технологи композитних, порошкових та нанотехнологічних матеріалів. Далі - професії щодо забезпечення адитивних технологій: оператор 3D конструювання, архітектор будов пошарового зведення. Закривають список цифрові підприємці, біоконструктори.

Для кожної професії були наведені ключові характеристики, включаючи їх короткий опис, горизонт виникнення, тип спеціалізації (крос-галузева, внутрішньогалузева), а також набір знань, умінь та навичок, необхідних для виконання роботи (професійні, надпрофесійні). Надпрофесійні навички та вміння є універсальними та важливими для фахівців різних галузей, оволодіння ними дозволяє працівникові підвищити ефективність професійної діяльності у своїй галузі, а також дає можливість переходити в інші галузі, зберігаючи свою затребуваність.

Необхідно відзначити, що навіть в інтерв'ю респондентам було важко позначити справді нові спеціальності, найчастіше вони називали вже існуючі професії і у сфері виробництва, і у сфері професійної підготовки (менеджер автоматизованих систем управління, оператор лазерних установок, інженер-еколог, програмісти для 3D друку та ін). Іншими словами, навіть на інноваційних підприємствах регіону обговорювати проривні, нові професії експерти поки що не готові. На думку фахівців, існуюче виробництво відчуває дефіцит у кваліфікованих кадрах, які мають підготовку за традиційними спеціальностями, і обговорювати появу інноваційних професій можна лише з футуристичними припущеннями.

Змістовна інформація про професії дозволила проаналізувати наявні показники і представити деякі узагальнені характеристики нових професій для машинобудівного виробництва. На думку експертів, більшість характерна кроссотраслева спеціалізація. Серед надпрофесійних навичок для всіх професій потрібна наявність системного мислення, більшість нових професій вимагають умінь керувати проектами та процесами, а також володіння майстерністю виявляти виробничі втрати та шукати шляхи їх усунення, зменшення всіх можливих витрат та збільшення продуктивності (ощадливе виробництво). Важливими є знання в галузі різних галузей (міжгалузева комунікація) та кваліфікації в галузі програмування рішень, робота зі штучним інтелектом. Окремі професії вимагають роботи у режимі високої невизначеності та швидкої зміни умов завдань. Найменше професії майбутнього вимагають від спеціалістів клієнтоорієнтованості та володіння іншими мовами (мультикультурність, мультимовність).

Отримана інформація говорить про те, що професійне утворення вже сьогодні може реагувати та готувати фахівців з нових професій (прогноз появи/затребуваності для більшості з них до 2020 року). Необхідно орієнтувати професійні освітні програми на підготовку фахівців, які мають набір таких знань, навичок, умінь та компетенцій, які зможуть дати можливість знайти роботу в різних галузях або на стику галузей, мати системне мислення та основи ощадливого виробництва, володіти кваліфікаціями в галузі програмування рішень.

Позначивши перспективні напрями розвитку машинобудівних виробництв у галузі інноваційних технологій, наукомісткого обладнання, технологій та управління виробництвом, необхідно з'ясувати, які кваліфікації мають мати фахівці для роботи в умовах подібних нововведень. Природно, що з кожної певної технології потрібні конкретні професійні знання, мають свої особливості та вузькоспрямовані кваліфікації. Однак існує набір універсальних навичок і умінь, що дозволяють ефективно здійснювати професійну діяльність у будь-якій галузі - надпрофесійні (або

загальнопрофесійні) компетенції. У дослідженні експертам було запропоновано оцінити, які з них будуть потрібні працівникам інноваційних виробництв. Що особливо важливо, ми акцентували увагу респондентів на тому, що ці навички та вміння необхідні для кваліфікованих робітників та фахівців середнього рівня (тобто для фахівців, які здобувають підготовку за програмами середньої професійної освіти).

Лідуюче місце у списку затребуваних компетенцій займають навички та вміння, необхідні для дотримання умов ощадливого виробництва: виявлення виробничих втрат та пошук шляхів їх усунення, зменшення можливих витрат та збільшення продуктивності праці. Не менш важливо для роботи на інноваційних виробництвах володіти основами міжособистісної комунікації та вміти налагоджувати контакти з групами та колективами. І ще дві позиції, які експерти виділили як ведучі: уміння здійснювати свою трудову діяльність у режимі високої невизначеності та швидкої зміни умов завдань, оперативно приймати рішення, реагувати на зміну умов роботи, раціонально розподіляти ресурси та грамотно керувати своїм часом; здатність системно мислити, визначати складні системи та працювати з ними. Найменше нові технології вимагають від працівників здібностей до художньої творчості та наявності розвиненого естетичного смаку, а також знань в галузі національного контексту країн-партнерів, розуміння специфіки роботи в галузях в інших країнах, володіння англійською або іншою іноземною мовою (мультіязичність, мульткультурність).

У дослідженні також ставилося питання про те, які навички та вміння позначаються на продуктивності праці різних категорій персоналу: кваліфікованих робітників та спеціалістів середньої ланки.

І для робітників, і для фахівців середньої ланки в тій чи іншій мірі необхідно мати загальні надпрофесійні навички та вміння, але більш вагомий внесок вони вносять у продуктивність праці фахівців.

Продуктивність праці кваліфікованих робітників більшою мірою залежить від аналітичних навичок, що вимагають здібностей критично

мислити, аналізувати та узагальнювати інформацію. Це вміння виявляти та усувати виробничі втрати, мінімізувати можливі витрати (ощадливе виробництво); вміння працювати в режимі високої невизначеності та швидкої зміни умов завдань, а також здатності системно мислити. На наш погляд, формування даних навичок та умінь може бути предметом особливої уваги у процесі навчання та професійної підготовки кваліфікованих робітників в освітніх організаціях СПО.

Оцінки важливості того чи іншого вміння (навичка) не завжди корелюють з оцінками впливу цього ж вміння на продуктивність праці тощо. Для роботодавців важливо, щоб співробітник володів тією чи іншою навичкою, навіть якщо це не позначається на прибутку підприємства (як ефект від зростання продуктивності праці працівника). Значимість даного спостереження для системи професійної освіти полягає в тому, що володіння працівником подібними універсальними навичками та вміннями підвищує затребуваність роботодавцями і відповідно підвищує шанси працевлаштування випускників.

1.3 Висновки до розділу 1

Для вирішення цього завдання необхідні спільні зусилля і держави, і бізнесу шляхом більш активного залучення компаній у складання навчальних планів технічних училищ та ЗВО (для скорочення розриву між вимогами виробництва та освітніми стандартами). Відповідно до цього було розглянуто затребувані загальні та професійні компетентності для інноваційних машинобудівних виробництв.

2. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1 Перспективи розвитку

Агрегатні автомати й напіваавтомати одержують усе більше застосування в машинобудівній промисловості. Широке поширення їх на машинобудівних заводах пред'являє насамперед підвищені вимоги до рівня уніфікації самих конструкцій агрегатних верстатів, зменшенню їх номенклатури за рахунок розробки найбільш раціональних параметричних рядів нормалізованих вузлів, до вдосконалювання конструкцій вузлів за рахунок підвищення їх точності, твердості, швидкодії, надійності роботи [22,30].

Ці вимоги послужили основою для розробки й впровадження верстатобудівними організаціями єдиної гами уніфікованих вузлів агрегатних верстатів і автоматичних ліній.

При цьому передбачалося:

А. Використання як силові вузли:

1) несамодіючих гідравлічних малогабаритних пінольних головок габаритів 01-04 з потужністю привода головного руху від 0,12 до 1,1 кВт конструкції Науково-дослідного експериментального інституту металорізальних верстатів;

2) самодіючих плоскокулачкових пінольних головок габаритів 05-06 з потужністю привода головного руху від 0,8 до 3 кВт конструкції Харківського спеціального конструкторського бюро агрегатних верстатів;

3) силових столів з гідравлічним і електромеханічним приводом габаритів 1-7 для установки на них різних бабок: розточувальних, свердлильних і фрезерних (без пінолі) потужністю від 1,5 до 330 кВт конструкції Мінського бюро автоматичних ліній; підрізних розточувальних, фрезерних (з пінолью) потужністю від 1,5 до 30 кВт конструкції Московського спеціального конструкторського бюро автоматичних ліній і агрегатних верстатів.

Б. Використання для повороту оброблюваних деталей:

- 1) накладних поворотно-ділильних столів діаметром 200-500 мм високої точності з гідравлічним приводом конструкції;
- 2) поворотно-ділильних столів діаметром 400-800 мм із електромеханічним приводом конструкції Харківського спеціального конструкторського бюро агрегатних верстатів;
- 3) накладних поворотно-ділильних столів діаметром 800-1250 мм нормальної й підвищеної точності з гідравлічним приводом конструкції Московського спеціального конструкторського бюро автоматичних ліній і агрегатних верстатів;
- 4) поворотно-ділильних столів діаметром 800-1250 мм нормальної й підвищеної точності з електромеханічним приводом конструкції Мінського спеціального конструкторського бюро автоматичних ліній.

В. Використання ряду загальних несучих корпусних деталей (станин, стійок, кронштейнів і ін.), що випускаються провідними верстатобудівними заводами.

Використання в компонованнях агрегатних верстатів уніфікованих вузлів єдиної гами дозволило приблизно на 30% скоротити число їх типорозмірів, у тому числі по шпиндельних коробках в 2, 5 рази (з 56 до 22 типорозмірів) і знизити собівартість вузлів за рахунок збільшення серійності їх виробництва.

Подальший розвиток конструкцій агрегатних верстатів як устаткування, заснованого на методі концентрації операцій, іде по наступних основних напрямках:

- 1) подальше збільшення ступеня концентрації операцій, що дозволяє обробляти деталь повністю з однієї установки від єдиних технологічних баз;
- 2) розширення технологічних можливостей верстатів цього типу за рахунок виконання операцій, які раніше не виконувалися на агрегатних верстатах;

3) розширення області застосування агрегатних верстатів шляхом розробки швидко переналагоджуваних конструкцій, що дозволяють використовувати їх у серійному й дрібносерійному виробництві;

4) збільшення точності й надійності роботи напівавтоматів і автоматів і підвищення коефіцієнта їх використання.

Збільшення концентрації операцій на агрегатних верстатах до оптимального рівня здійснюється шляхом:

а) збільшення числа інструментів, установлених на кожній силовій головці, і застосування комбінованого інструмента;

б) збільшення числа силових головок на кожній позиції верстата;

в) збільшення числа позицій на верстаті;

г) збільшення кількості деталей, оброблюваних на кожній позиції.

Кожний спосіб збільшення концентрації операцій (або комбінація способів) набуває переважного застосування залежно від конкретних умов обробки.

Збільшення концентрації операцій за рахунок збільшення кількості інструментів на силових головках обмежується потужністю й осьовим зусиллям механізму подач головок.

У деяких випадках доцільно застосовувати комбінований інструмент, що дозволяє за один прохід обробляти кілька поверхонь.

Найбільш часто збільшення концентрації операцій досягається розміщенням необхідної кількості головок на верстаті. Це дозволяє обробляти поверхні, розташовані під різними кутами, а також повністю обробляти деталь із однієї установки.

Щоб побільшати концентрацію операцій на агрегатних верстатах шляхом збільшення числа монтованих на верстаті силових головок, конструкція цих головок повинна задовольняти певним вимогам. Головні з них:

1) при мінімально можливих габаритних розмірах головки повинні забезпечити одержання необхідного осьового зусилля й потужності на шпинделі;

2) 2) для повного використання можливостей інструментів конструкція головок повинна забезпечувати необхідні швидкості різання й подачі, а також можливість їх регулювання;

3) конструкція головок повинна забезпечувати достатню твердість для роботи на найбільш вигідних режимах різання.

Збільшення концентрації операцій досягається також збільшенням числа робочих позицій. В агрегатних верстатів, призначених для обробки середніх по розмірах деталей, число позицій не перевищує 4-6. Поворотні столи верстатів для дрібних деталей проектують із числом позицій 12-15. Подальше збільшення числа позицій різко збільшує габаритні розміри верстатів і створює незручності при обслуговуванні. У таких випадках обробляти деталі більш доцільно на декількох агрегатних верстатах.

Можна побільшати число деталей, оброблюваних на кожній позиції. Це застосовується при обробці дрібних валів, важелів, а також при обробці дрібних корпусних деталей у дві установки. Найбільш зручними для такої побудови процесу обробки є агрегатні верстати із центральною колоною. Застосування цих верстатів дозволяє мати у своєму розпорядженні необхідне число позицій, а вертикальні й деякі похилі головки встановлювати на центральній колоні, не виходячи за межі габаритів стола.

Особливо великий ефект виходить при використанні для обробки складних за формою деталей групи агрегатних верстатів, з яких створюються потокові автоматизовані лінії.

Технологічні можливості агрегатних верстатів розширюються при включенні операцій, які раніше не виконувалися на цих верстатах.

2.2 Класифікація агрегатних верстатів

Агрегатні верстати (рис.2.1) залежно від форми, розмірів заготовок, необхідної точності обробки компонують по різних схемах: одnobічними й багатобічними, одношпиндельними й багатшпиндельними, однопозиційними й багатопозиційними, у вертикальному, похилому, горизонтальному й комбінованому виконаннях.

Обробка на однопозиційних агрегатах верстатах виконується при одному постійному положенні заготовки. Агрегатні верстати з багатопозиційними поворотними столами або барабанами призначено для паралельної обробки однієї або одночасно декількох заготовок малих і середніх розмірів. При цьому допоміжний час скорочений до мінімуму за рахунок того, що установка заготовки й зняття заготовки на позиції завантаження-вивантаження здійснюється під час обробки на інших позиціях.

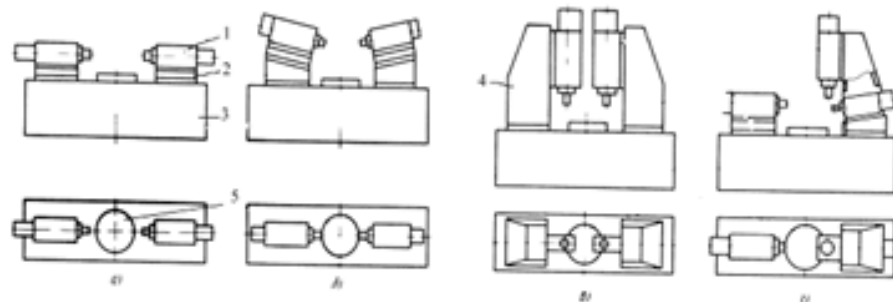


Рисунок 2.1 - Схеми компонувань агрегатних верстатів на прямокутній станині: а - двостороння з горизонтальними головками, б - те ж, з похило закріпленими головками, в - те ж, з вертикально встановленими головками, г - з горизонтальної, похилої й вертикальної головками.

Типові уніфіковані компонування розроблені на основі використання уніфікованих агрегатів; (рівень уніфікації 90 %). Наприклад, в агрегатному верстаті вертикального компонування (рис.1.2) уніфіковані: базові деталі (станини 1 і 20, стійка 9, упорний косинець II), силові механізми (силовий стіл 8, а у верстатах інших типів силові головки), шпиндельні механізми (шпиндельна коробка 14, розточувальна бабка 19, свердлильна бабка 10), механізми транспортування (поворотний ділильний стіл 3, двопозиційний

ділительний стіл 18 прямолінійного переміщення), механізми головного руху (коробка швидкостей 17), гідроустаткування (гідробак 4, насосна установка 5, гідропанель 6), електроустаткування (центральный і налагоджувальний пульти 2, електрошафа силових механізмів 16, електрошафа верстата 7), допоміжні механізми (подовжувач 15, різьбовий копір 13, розточувальна піноль 12).

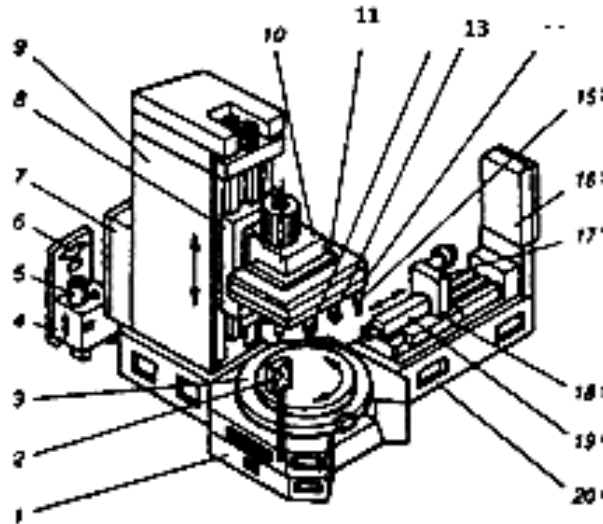


Рисунок 2.2 - Уніфіковані агрегати агрегатних станков

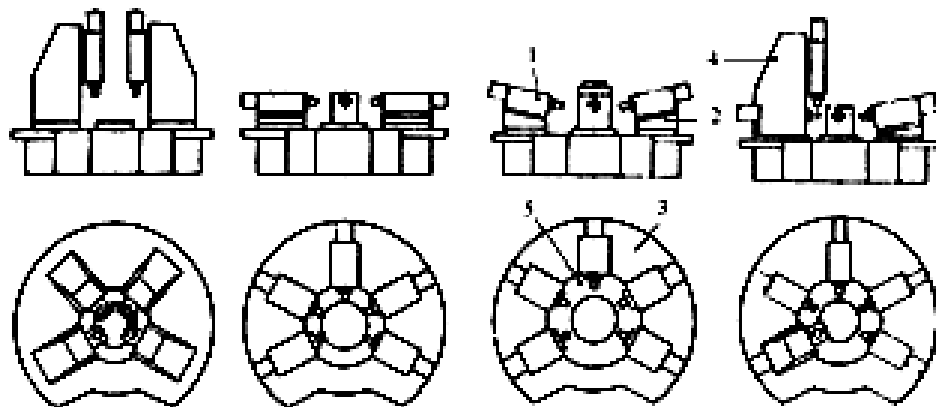


Рисунок 2.3 - Схеми компонувань агрегатних верстатів із круглим поворотним столом: 1 - силовая головка, 2 - подкладная плита, 3 - станина, 4 - стійка (кронштейн), 5 - стіл

Спеціальні механізми, наприклад пристосування для установки й закріплення заготовок, мають окремі нормалізовані елементи.

Силові механізми агрегатних верстатів призначені для повідомлення різальним інструмент головного руху й руху подачі (силові столи). Силові

головки призначені для виконання токарських, фрезерних, свердлильних, розточувальних, різьбонарізних, шліфувальних і інших робіт. Вони звичайно працюють в автоматичних циклах, наприклад:

1) швидке підведення, робоча подача (одна або дві), витримка на твердому упорі (при необхідності), швидкий відвід, стоп;

2) швидке підведення, робоча подача, швидке підведення, робоча подача, стоп. Такий цикл використовують, наприклад, при послідовній обробці декількох співвісних отворів однакового діаметра.

Для привода головного руху (обертального) у силових головках звичайно застосовують електродвигуни, а для привода подачі - кулачки, гвинтові передачі, циліндри (пневматичні, гідравлічні й пневмо-гідравлічні).

По конструкції механізму подач розрізняють головки з рухливий пінолю й з рухливим корпусом. Подачу інструмента переміщенням пінолі звичайно виконують у головках малої потужності, не більш 1,5 кВт, що забезпечує підхід інструмента до заготовки. Силкові головки середньої й великої потужності виконують із рухливим корпусом.

Залежно від розташування привода подач силкові головки можуть бути несамодіючими й самодіючими. У перших привод подач розташований поза головою, яку звичайно встановлюють на силовому столі, підключеним до насосної станції верстата або, що мають самостійний привод. У других як привод обертання шпинделя, так і всі елементи привода подачі (резервуар для масла, насос, гідропанель керування) розташовані в корпусі головки.

По потужності двигуна силкові головки підрозділяють на мікросилові (0,1-0,4 кВт), малої потужності (0,4-3,0 кВт), середньої (3,0 - 15 кВт) і великої потужності (15-30 кВт).

Залежно від типу привода подач розрізняють головки механічні (кулачкові й гвинтові), пневматичні, гідравлічні й пневмо-гідравлічні.

Силкові головки в значній мірі визначають продуктивність, надійність і точність роботи агрегатних верстатів. Тому силкові головки повинні автоматично й точно виконувати заданий цикл роботи, мати мінімальні

пружні деформації при обробці з різними режимами, мати високу надійність. Конструкції головок повинні забезпечувати швидке усунення виникаючих відмов і простоту обслуговування.

Однієї з останніх модифікацій верстата є верстат АМ. М16457. Він може виконувати фрезерування, свердління, різьбонарізування. Продуктивність 33+33 деталі в годину [10,30].

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВЕРСТАТА

3.1 Загальна схема

У даному проекті розробляється агрегатний верстат по нарізуванню гайок із дрібними кроками. Даний верстат призначений для обробки із шестигранних заготовок серії однакових деталей діаметром до 25 мм і довжиною до 15 мм із матеріалу сталь 20Х.

Даний верстат дозволяє здійснити свердління, зенкерування, розгортання в діапазоні діаметрів 25...10 мм, а також нарізування різьб із дрібними кроками залежно від установленого мітчика.

Верстат має чотири автоматичних силових головки, а також п'ятипозиційний поворотний ділильний стіл, що має наступні позиції:

- 1 позиція - завантажувальна;
- 2 позиція - свердління;
- 3 позиція - зенкерування.
- 4 позиція - розгортання.
- 5 позиція - нарізування різьби.

Технічні характеристики даного верстата наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики верстата

Характеристика	Величина
Максимальний діаметр свердління	25 мм
Мінімальний діаметр свердління	10 мм
Межі обертів шпинделя силової головки для свердління	250-800 хв ⁻¹
Число щаблів коробки швидкостей силової головки для свердління	6
Число позицій поворотного стола	4
Потужність привода силової головки для свердління	1,3 кВт

Структурна схема даного верстата наведено на рисунку 3.1 Силова головка й поворотний ділильний стіл зв'язані електричною схемою. На даному рисунку показані рухи: П1 - головне; В3 - рух подачі; В5 - допоміжний рух.

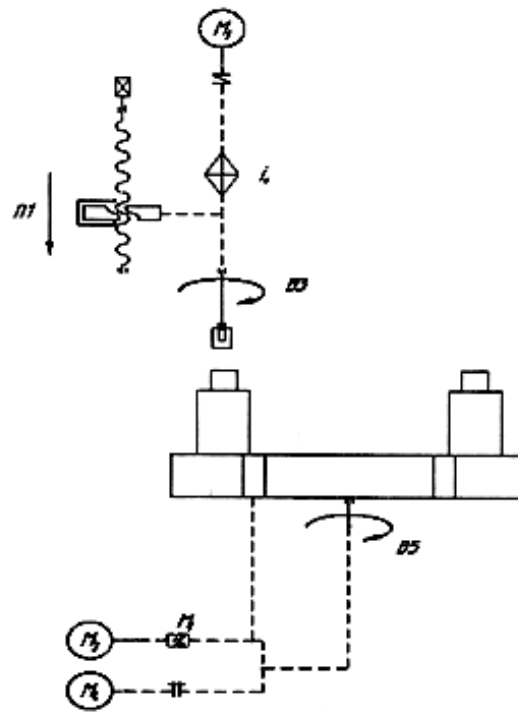


Рисунок 3.1 - Структурна схема агрегатного верстата

3.2 Розробка кінематичної схеми верстата

На всі елементи даного верстата накладені електричні зв'язки, що забезпечує синхронність роботи встаткування [35].

Верстат працює в такий спосіб.

Вал I коробки швидкостей пов'язаний з валом електродвигуна М1 потужністю 1,3 кВт. Від електродвигуна через зубчасті колеса 1 і 2 обертання повідомляється валу II, на якому жорстко закріплені зубчасті колеса 3, 4, 5. Обертання на вал III може доставлятися по трьом шляхам: при зачепленні коліс 3 і 6, при зачепленні коліс 4-7 або через колеса 5-8. Рух подачі здійснюється переміщенням корпусу силової головки при передачі обертання від вала III через колеса 11-13 на ходовий гвинт V. На шпindel обертання передається від вала III двома шляхами: при зачепленні коліс 9-11 або коліс 10-12 шпindelю.

Після зробленої обробки, проводиться відвід силових головок і поворот стола.

Рух поворотного ділильного стола здійснюється в такий спосіб.

До корпусу стола прикріплені електродвигуни М3 і М4. Електродвигун М3 через пару зубчастих коліс 30 і 31 і самогальмуючу черв'ячну передачу 29 здійснює обертання зубчастого колеса 28, яке перебувати в зачепленні із зубчастим вінцем 27, прикріпленим до планшайби стола. Планшайба центрується підшипником. При проходженні фіксаторного пальця повз упор за допомогою важільної системи перемикаються муфта М1, що виключає електродвигун М3, що й включає електродвигун М4. Відбувається реверсування планшайби. Після усунення зазорів у всьому кінематичному ланцюзі сила струму в електродвигуні виключає його, при цьому черв'ячна пара виявляється заклиненою.

3.3 Проектування коробки швидкостей

3.3.1 Розрахунок режимів різання

При призначенні режимів різання використовуються таблиці й рекомендації з довідкової літератури.

Призначимо режим різання для операції свердління. Із заданих максимального й мінімального діаметрів свердління ухвалюємо максимальну глибину різання $t_{max}=20$ мм, мінімальну глибину різання $t_{min}=5$ мм.

Швидкість різання визначимо по формулі:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^Y} \cdot K_v, \text{ м/хв.}$$

$$V_{max} = \frac{9,8 \cdot 40^{0,4}}{45^{0,2} 0,4^{0,5}} \cdot 1 = 31,65 \text{ м/хв,}$$

$$V_{min} = \frac{9,8 \cdot 10^{0,4}}{45^{0,2} 0,22^{0,5}} \cdot 1 = 24,51 \text{ м/хв.}$$

Визначимо граничні частоти обертання шпинделя:

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot 31,65}{3,14 \cdot 40} = 250 \text{ хв}^{-1}, \quad n_{max} = \frac{1000 \cdot 24,51}{3,14 \cdot 10} = 780 \text{ хв}^{-1}.$$

3.3.2 Визначення числа шаблів коробки швидкості

Визначимо число шаблів коробки швидкостей силової головки для свердління.

Діапазон регулювання:

$$Rn = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{780}{250} = 3,12.$$

Число шаблів коробки швидкостей силової головки для свердління по формулі:

$$Z = \frac{\log(3,12)}{\log(1,26)} + 1 = 5,65.$$

Ухвалюємо $z=6$.

У результаті одержуємо, що силова головка мають коробку швидкостей із шістьма шаблями.

3.3.3 Потужність двигуна

Розрахуємо потужність двигуна по формулі [2]:

$$N_{\partial\partial} = \frac{N}{\eta}, \text{ кВт},$$

де N - потужність різання, η - ККД.

Визначимо потужність різання при свердлінні по формулі [1]:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750},$$

де $M_{кр}$ - крутний момент, Н·м.

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^Y \cdot K_p,$$

де значення коефіцієнтів і показники ступені вибираються з [1].

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 10^2 \cdot 0,22^{0,8} \cdot \left(\frac{600}{750}\right)^{0,75} = 8,69 \text{ Н·м}.$$

$$N = \frac{8,69 \cdot 780}{9750} = 0,71 \text{ кВт.}$$

Для визначення необхідної потужності двигуна, необхідно знайти ККД [2]:

$$\eta = 0,973 \cdot 0,994 = 0,85.$$

Визначимо необхідну потужність двигуна силової головки для свердління:

$$N_{\text{дв}} = \frac{0,71}{0,85} = 0,81 \text{ кВт.}$$

Для силової головки для свердління вибираємо двигун АТ2-21-4 потужністю 1,3 кВт і частотою обертів 700 хв^{-1} .

3.3.4 Кінематичний розрахунок коробок швидкостей

Кінематичний розрахунок включає побудову графіка частот обертання, визначення передаточних чисел і чисел зубів коліс. Ряд чисел обертів представляє геометричну прогресію зі знаменником $\phi = 1,26$, що відповідає ДЕРЖСТАНДАРТ 8032-56.

Здійснимо розрахунок для силової головки, що виконує свердління.

Графік частот обертання силової головки для свердління зображено на рисунку 3.3.

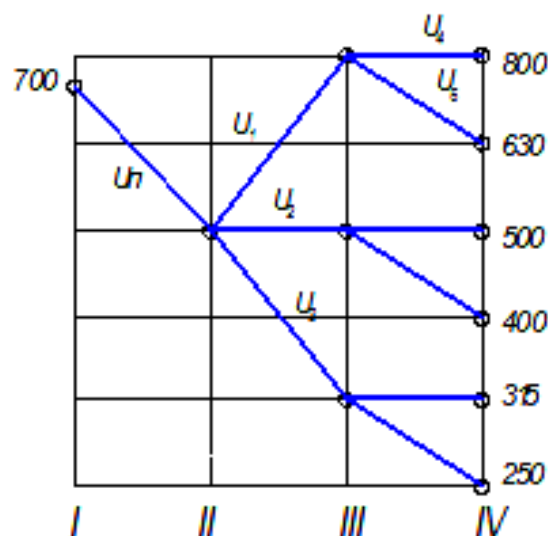


Рисунок 3.3 - Графік частот обертання шпинделя силової головки

Із графіка визначаються передатні відносини коліс:

$$U_n = \frac{Z_a}{Z_b} = \frac{400}{700} = 0,714,$$

$$U_1 = \frac{Z_5}{Z_6} = \phi^2 = 1,26^2,$$

$$U_2 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1}{1} = 1,$$

$$U_3 = \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{1}{\phi^2} = \frac{1}{1,26^2},$$

$$U_4 = \frac{Z_7}{Z_8} = 1,$$

$$U_5 = \frac{Z_9}{Z_{10}} = \frac{1}{\phi} = \frac{1}{1,26}.$$

Результати кінематичного розрахунків для силової головки для свердління зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати кінематичного розрахунків силової головки для свердління

U_n	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
$\frac{Z_a}{Z_b} = \frac{25}{35}$	$\frac{Z_5}{Z_6} = \frac{44}{28}$	$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{36}{36}$	$\frac{Z_3}{Z_4} = \frac{28}{44}$	$\frac{Z_7}{Z_8} = \frac{36}{36}$	$\frac{Z_9}{Z_{10}} = \frac{32}{40}$
$\Sigma Z = 60$	72			72	

Кінематична схема коробки швидкостей представлено на рисунку 3.4.

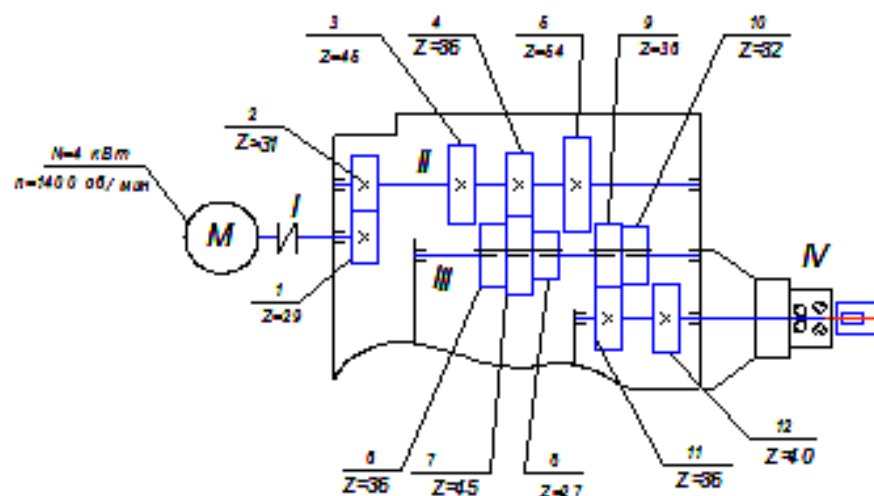


Рисунок 3.4 - Кінематична схема коробки швидкостей

3.3.5 Проектні розрахунки валів

Потужності на валах визначаються по формулі [2]:

$$N_i = N_{\text{дв}} \cdot \eta,$$

де $N_{\text{дв}}$ - потужність двигуна; η - ККД ділянки кінематичного ланцюга від двигуна до, що розраховується вала.

$$N_1 = 3,8 \cdot 0,99 = 3,762 \text{ кВт},$$

$$N_2 = 3,8 \cdot 0,97 \cdot 0,99^2 = 3,619 \text{ кВт},$$

$$N_3 = 3,8 \cdot 0,97^2 \cdot 0,99^3 = 3,469 \text{ кВт},$$

$$N_4 = 3,8 \cdot 0,97^3 \cdot 0,99^4 = 3,3 \text{ кВт}.$$

Передані крутні моменти на валах визначаються по формулі [4]:

$$M_i = 9740 \frac{N_i}{n}, \text{ Н} \cdot \text{см},$$

де N_i - передана валом потужність, кВт;

n - частота обертання вала.

$$M_1 = 9740 \cdot \frac{3,762}{1400} = 26,173 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_2 = 9740 \cdot \frac{3,613}{1260} = 27,929 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M'_3 = 9740 \cdot \frac{3,469}{2500} = 13,515 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M''_3 = 9740 \cdot \frac{3,469}{1580} = 21,385 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M'''_3 = 9740 \cdot \frac{3,469}{800} = 42,235 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M'_4 = 9740 \cdot \frac{3,3}{2500} = 12,8568 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M''_4 = 9740 \cdot \frac{3,3}{2000} = 16,071 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M'''_4 = 9740 \cdot \frac{3,3}{1580} = 20,343 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_4^{IV} = 9740 \cdot \frac{3,3}{1260} = 25,510 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_4^V = 9740 \cdot \frac{3,3}{1000} = 32,142 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_4^{VI} = 9740 \cdot \frac{3,3}{800} = 40,1775 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо діаметри валів по напрузі, що допускається, при крутінні $[\tau]$
 $=25 \dots 30 \text{ МПа}$ [4]:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{M_i}{0,2 \cdot [\tau]}}.$$

$$d_I = \sqrt[3]{\frac{26,173}{0,2 \cdot 30}} = 16,34 \text{ мм},$$

$$d_{II} = \sqrt[3]{\frac{27,929}{0,2 \cdot 25}} = 17,74 \text{ мм},$$

$$d'_{III} = \sqrt[3]{\frac{13,515}{0,2 \cdot 25}} = 13,93 \text{ мм},$$

$$d''_{III} = \sqrt[3]{\frac{21,385}{0,2 \cdot 25}} = 16,23 \text{ мм},$$

$$d'''_{III} = \sqrt[3]{\frac{42,235}{0,2 \cdot 25}} = 20,37 \text{ мм},$$

$$d^I_{IV} = \sqrt[3]{\frac{12,857}{0,2 \cdot 25}} = 13,70 \text{ мм},$$

$$d''_{IV} = \sqrt[3]{\frac{16,071}{0,2 \cdot 25}} = 14,76 \text{ мм},$$

$$d'''_{IV} = \sqrt[3]{\frac{20,343}{0,2 \cdot 25}} = 15,96 \text{ мм},$$

$$d^{IV}_{IV} = \sqrt[3]{\frac{25,510}{0,2 \cdot 25}} = 17,215 \text{ мм},$$

$$d^V_{IV} = \sqrt[3]{\frac{32,142}{0,2 \cdot 25}} = 18,59 \text{ мм},$$

$$d^{VI}_{IV} = \sqrt[3]{\frac{40,1775}{0,2 \cdot 25}} = 20,03 \text{ мм}.$$

3.3.6 Визначення параметрів зубчастих коліс

Визначимо модуль зубчастих коліс по формулі [4]:

$$m = k_m \sqrt{\frac{M_1 \cdot k_{FB}}{Z^2 \cdot \psi_{bd} \cdot \sigma_{FP}}} \cdot y_{F1},$$

де k_m - допоміжний коефіцієнт, для прямозубих передач $k_m = 14$; M_1 - крутний момент на шестірні, Н·м; z - число зуб'єв меншого колеса в передачі; k_{FB} - коефіцієнт, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца, можно принять равным 1,1.

Відношення ширини вінця до початкового діаметра шестірні ухвалюється рівним 0,2.1,6. Ухвалюємо $\psi_{bd} = 0,35$.

Коефіцієнт y_{F1} , що враховує форму зуба, можна визначити по таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Значення коефіцієнта y_{F1}

zi	36	27	32	29
y _{F1}	3,71	3,82	3,78	3,80

Що допускається напруга вигину σ_{FP} визначається по формулі [4]:

$$\sigma_{FP} = \sigma'_{FP} \cdot k_{FL},$$

де σ'_{FP} - напруга, що допускається, зубів по вигину, МПа, відповідне до базового числа циклів зміни напруг;

k_{FL} - коефіцієнт довговічності.

Для коліс зі сталі 40Х с поверхневим загартуванням ТВЧ до твердості поверхонь зубів HRC 48.52 величина $\sigma'_{FP} = 270$ МПа, $k_{FL} \leq 1,63$.

$$\sigma_{FP} = 440,1 \text{ МПа.}$$

Розраховані значення модулів коліс округлимо до стандартних значення відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 9563-88.

Модуль коліс у першій передачі:

$$m_{29} = 14 \sqrt{\frac{26,43714 \cdot 1,1}{29^2 \cdot 0,35 \cdot 440,1 \cdot 10^6}} \cdot 3,80 = 4 \text{ мм.}$$

Модуль коліс у другій передачі:

$$m_{36} = 14 \sqrt{\frac{21,514 \cdot 1,1}{36^2 \cdot 0,35 \cdot 440,1 \cdot 10^6}} \cdot 3,71 = 3 \text{ мм.}$$

Модуль коліс у третій передачі:

$$m_{27} = 14 \sqrt{\frac{13,489 \cdot 1,1}{27^2 \cdot 0,35 \cdot 440,1 \cdot 10^6}} \cdot 3,82 = 3 \text{ мм.}$$

Модуль коліс у четвертій передачі:

$$m_{32} = 14 \sqrt{\frac{25,343 \cdot 1,1}{32^2 \cdot 0,35 \cdot 440,1 \cdot 10^6}} \cdot 3,78 = 3 \text{ мм.}$$

Здійснимо розрахунок зубчастого колеса 1.

Дільний діаметр зубчастих коліс визначається по формулі [4]:

$$d_i = z_i \cdot m_i$$

$$d_1 = 4 \cdot 29 = 116 \text{ мм.}$$

Визначаємо дільний міжосьова відстань коліс по формулі [5]:

$$a_i = \frac{m \cdot \sum Z_i}{2}$$

$$a_1 = \frac{4 \cdot 60}{2} = 120 \text{ мм.}$$

Визначаємо ширину вінця зубчастих коліс по формулі [5]:

$$b_i = (8..10) m_i,$$

$$b_i = 9 \cdot 4 = 36 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр западин зубів по формулі [5]:

$$d_{fi} = m_i (z_i - 2,5),$$

$$d_{fi} = 4(29 - 2,5) = 106 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр вершин зубів по формулі [5]:

$$d_{ai} = m_i (z_i + 2),$$

$$d_{ai} = 4(29 + 2) = 124 \text{ мм.}$$

Аналогічно визначаємо параметри для коліс, що залишилися. Результати зведемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 - Параметри зубчастих коліс

№ колеса	m_i , мм	z_i , мм	d_i , мм	a_i , мм	b_i , мм	df_i , мм	d_{a_i} , мм
1	4	29	116	120	36	106	124
2	4	31	124	120	36	114	132
3	3	45	135	121,5	30	127,5	141
4	3	36	108	121,5	30	114	100,5
5	3	54	162	121,5	30	154,5	168
6	3	36	108	121,5	30	114	100,5
7	3	45	135	121,5	30	127,5	141
8	3	27	81	121,5	30	73,5	87
9	3	36	108	121,5	30	114	100,5
10	3	32	96	121,5	30	88,5	102
11	3	36	108	108	30	114	100,5
12	3	40	120	108	30	112,5	126

3.3.7 Розрахунки валів

Розрахунки валів на міцність

Здійснимо розрахунок валів на міцність при включенні четвертого щабля (рисунок 3.5).

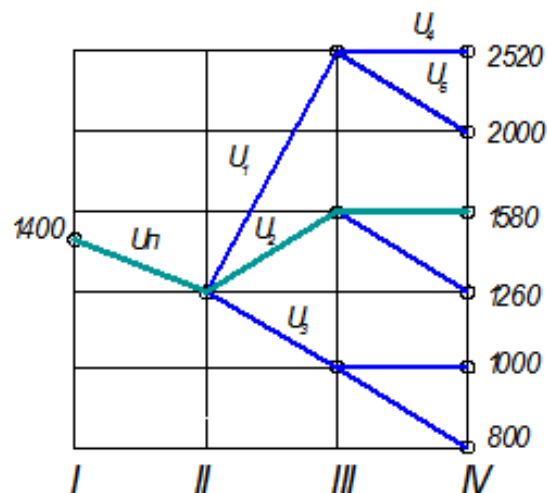


Рисунок 3.5 - Графік частот обертання шпинделя

Округляємо отримані значення в пункті 3.5 діаметри валів до найближчих стандартних значень внутрішнього кільця підшипника за ДСТ

8338-88 і ухвалюємо ці значення за діаметри шийок валів під підшипники. Таким чином, одержимо наступні значення:

$$d_i=17 \text{ мм}, d_{ii}=20 \text{ мм}, d_{iii}=17\text{мм}, d_{iv}=17\text{мм}.$$

При розрахунках валів на міцність необхідно скласти розрахункові схеми відповідно до навантажень, що діють у зубчастих зачепленнях.

Схема навантаження вала *I* зображення на рисунку 3.6.

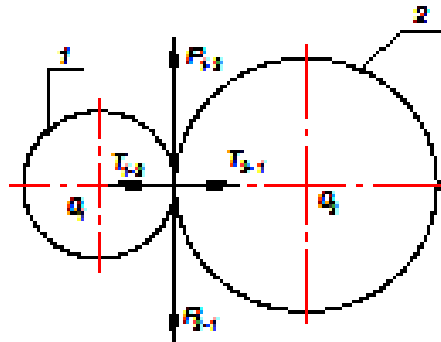


Рисунок 3.6 - Схема навантаження першого вала

Відповідно до схеми навантаження складемо розрахункову схему вала *I* (рисунок 3.7).

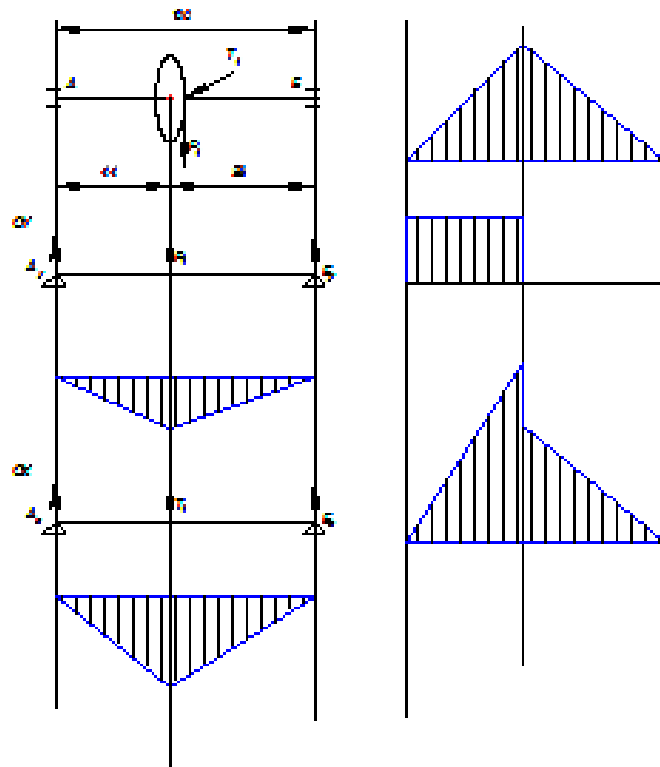


Рисунок 3.7 - Розрахункова схема вала *I*

Розрахуємо вал I .

Крутний момент, переданий валом I , $M_I=26.173$ Н·м. Визначимо зусилля у зачепленні за формулами

$$\text{окружні: } P = \frac{2 \cdot M_i}{d_i},$$

$$\text{розпирні: } T = P \cdot \operatorname{tg} 20^\circ,$$

де d_i - ділильний діаметр колеса в зачепленні.

$$P_1 = \frac{2 \cdot M_1}{d_1} = \frac{26,173 \cdot 2}{0,116} = 455,259 \text{ Н},$$

$$T_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 164,245 \text{ Н}.$$

Визначимо опорні реакції:

$$\sum M_A = 0;$$

$$P_1 \cdot 44 - B_y \cdot 100 = 0 \Rightarrow B_y = \frac{P_1 \cdot 44}{100} = 200,313 \text{ Н},$$

$$T_1 \cdot 44 - B_x \cdot 100 = 0 \Rightarrow B_x = \frac{T_1 \cdot 44}{100} = 72,267 \text{ Н}.$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$-P_1 \cdot 56 + A_y \cdot 100 = 0 \Rightarrow A_y = \frac{P_1 \cdot 56}{100} = 254,94 \text{ Н}.$$

$$-T_1 \cdot 56 + A_x \cdot 100 = 0 \Rightarrow A_x = \frac{T_1 \cdot 56}{100} = 91,977 \text{ Н}.$$

Визначаємо моменти в крапках, де прикладені сили й знаходимо результуючий згинальний момент.

Результуючий згинальний момент:

$$M_H = \sqrt{7,22628^2 + 19,855396^2} = 21,123673 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Еквівалентний момент:

$$M_{ЭК} = \sqrt{26,173^2 + 21,1237^2} = 33,6378 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Діаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{ЭК}}{0,1 \cdot \sigma_{из}}}.$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{33637,8}{0,1 \cdot 60}} \geq 17,76 \text{ мм.}$$

Ухвалюємо $d=20$ мм.

Схема навантаження вала II зображення на рисунку 3.8.

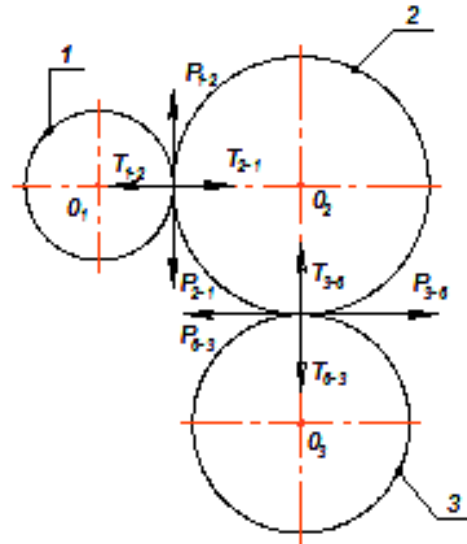


Рисунок 3.8 - Схема навантаження другого вала

Розрахункова схема вала II зображено на рисунку 3.9.

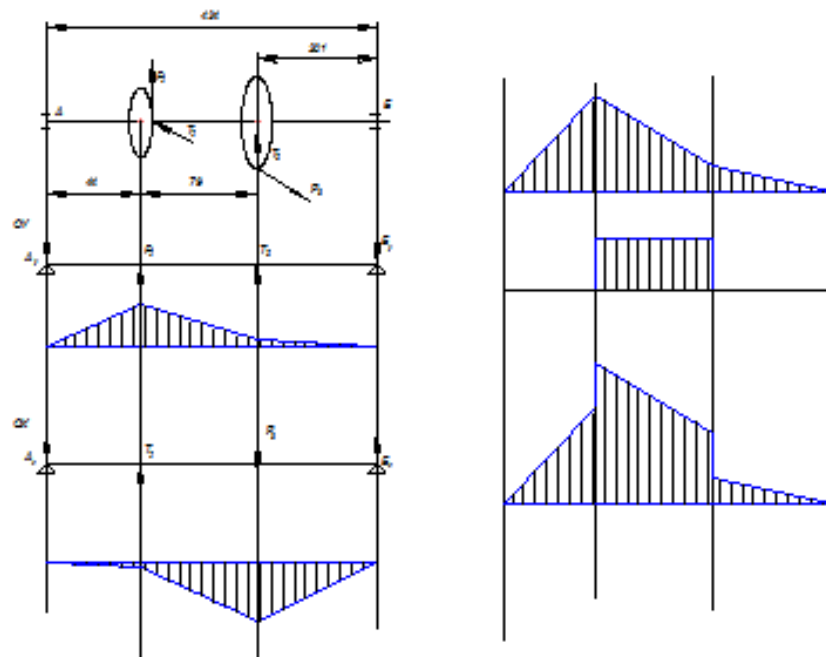


Рисунок 3.9 - Розрахункова схема вала II

Розраховуємо вал II.

$$P_2 = \frac{2 \cdot M_2}{d_2} = \frac{27,929 \cdot 2}{0,124} = 450,468 \text{ Н},$$

$$T_2 = P_2 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 163,957 \text{ Н},$$

$$P_3 = \frac{2 \cdot M_3}{d_3} = 316,815 \text{ Н},$$

$$T_3 = P_3 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 115,311 \text{ Н}.$$

Визначимо опорні реакції вала II:

$$\sum M_A = 0;$$

$$B_y \cdot 424 - P_2 \cdot 44 - T_3 \cdot 123 = 0 \Rightarrow B_y = \frac{P_2 \cdot 44 + T_3 \cdot 123}{424} = 80,198 \text{ Н},$$

$$-B_x \cdot 424 + P_3 \cdot 126 - T_2 \cdot 44 = 0 \Rightarrow B_x = \frac{T_2 \cdot 44 - P_3 \cdot 123}{424} = 74,892 \text{ Н}.$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$T_3 \cdot 301 + P_2 \cdot 380 - A_y \cdot 424 = 0 \Rightarrow A_y = 485,581 \text{ Н},$$

$$T_2 \cdot 380 - P_3 \cdot 301 + A_x \cdot 424 = 0 \Rightarrow A_x = 77,966 \text{ Н}.$$

Результуючі згинальні моменти:

$$M_{II1} = \sqrt{37,657^2 + 0,071^2} = 37657,562 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{II2} = \sqrt{0,107^2 + 6159,385^2} = 6159,385 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Еквівалентні моменти:

$$M_{\Sigma K1} = \sqrt{37,657^2 + 27,929^2} = 46,88412 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\Sigma K2} = \sqrt{6159,385^2 + 27,929^2} = 28,6001 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Діаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\Sigma K}}{0,1 \cdot \sigma_{из}}}.$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{46884,12}{0,1 \cdot 60}} \geq 19,843 \text{ мм}.$$

Ухвалюємо $d=20 \text{ мм}$.

Розрахунки вала *III*. Схема навантаження вала *III* зображення на рисунку 3.10.

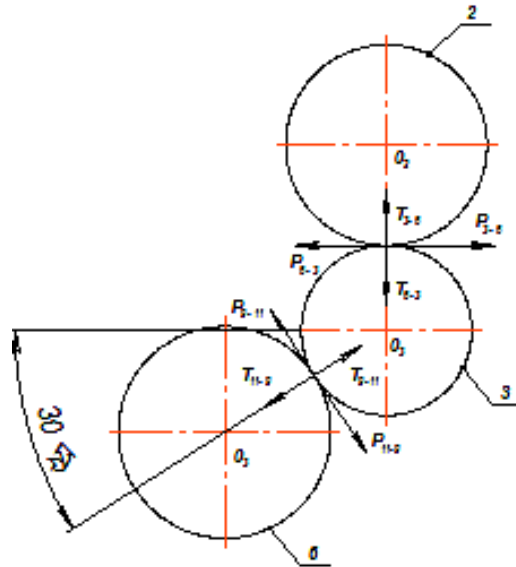


Рисунок 3.10 - Схема навантаження третього вала

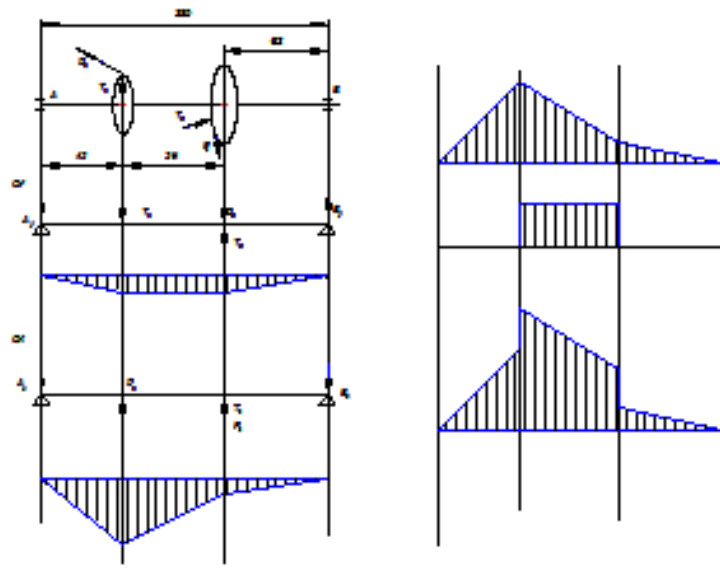


Рисунок 3.11 - Розрахункова схема вала *III*

На рисунку 3.11 представлена розрахункова схема вала *III*.

$$P_6 = \frac{2 \cdot M_3}{d_6} = \frac{21,385 \cdot 2}{0,108} = 396,019 \text{ Н},$$

$$T_6 = P_6 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 144,139 \text{ Н},$$

$$P_9 = \frac{2 \cdot M_4}{d_9} = \frac{20,343 \cdot 2}{0,108} = 376,722 \text{ Н},$$

$$P_{9y} = P_9 \cdot \cos 30^\circ = 326,251 \text{ Н}.$$

$$P_{9x} = P_9 \cdot \sin 30^\circ = 188,361 \text{ Н}.$$

$$T_9 = P_9 \cdot \tan 20^\circ = 137,116 \text{ Н}.$$

$$T_{9y} = T_9 \cdot \sin 30^\circ = 118,746 \text{ Н}.$$

$$T_{9x} = T_9 \cdot \cos 30^\circ = 68,558 \text{ Н}.$$

Визначимо опорні реакції вала III:

$$\sum M_A = 0;$$

$$-B_y \cdot 389 + P_{9y} \cdot 256 + T_6 \cdot 42 - T_{9y} \cdot 256 = 0 \Rightarrow B_y = 185,150 \text{ Н},$$

$$B_x \cdot 389 - P_6 \cdot 42 - T_{9x} \cdot 256 - P_{9x} \cdot 256 = 0 \Rightarrow B_x = 244,864 \text{ Н}.$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$T_{9y} \cdot 133 - P_{9y} \cdot 133 + A_y \cdot 389 - T_6 \cdot 347 = 0 \Rightarrow A_y = 216,682 \text{ Н}.$$

$$T_{9x} \cdot 133 + P_{9x} \cdot 133 + P_6 \cdot 347 - A_x \cdot 389 = 0 \Rightarrow A_x = 458,262 \text{ Н}.$$

Результуючі згинальні моменти:

$$M_{H1} = \sqrt{0,104^2 + 44,438^2} = 44,438 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{H2} = \sqrt{0,104^2 + 0,094^2} = 0,140 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Еквівалентні моменти:

$$M_{\Sigma K1} = \sqrt{20,343^2 + 44,438^2} = 48,873 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{\Sigma K2} = \sqrt{20,343^2 + 0,140^2} = 20,343 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Діаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\Sigma K}}{0,1 \cdot \sigma_{uz}}}.$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{48873}{0,1 \cdot 60}} \geq 20,121 \text{ мм}.$$

Ухвалюємо $d = 25 \text{ мм}.$

Розрахунки валів на твердість

Вал, розрахований з умов динамічної міцності, може не забезпечити нормальної роботи зубчастих коліс і підшипників, якщо буде надмірно деформуватися. Розрахунки на твердість зводиться до визначення прогину в і кута нахилу осі θ .

прогин, що допускається, вала під зубчастими колесами не повинен перевищувати 0,01-0,03 модуля m . Кути нахилу осі вала не повинен перевищувати 0,001 радіан.

Прогин і нахил осі вала визначаються по формулах [5]:

$$y = \frac{Ql^3}{10^7 d^4} K_y, \quad \theta = \frac{Ql^2}{10^7 d^4} K_\theta,$$

де l - довжина вала;

d - діаметр вала.

Розрахуємо вал I на твердість по наведених формулах. Для розрахунків скористаємося розрахунковою схемою вала (рисунок 3.12).

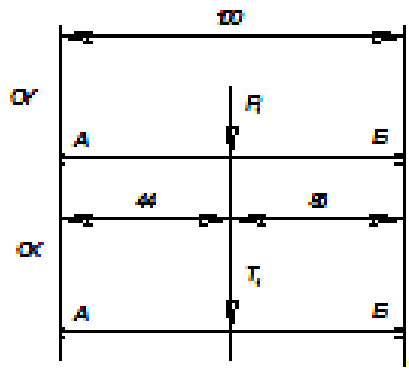


Рисунок 3.12 - Розрахункова схема першого вала

$$Q_x = \frac{451,259 \cdot 10^2}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,18 = 0,0000987 \text{ рад.},$$

$$Q_y = \frac{316,815 \cdot 10^2}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,18 = 0,0000693 \text{ рад.},$$

$$y_x = \frac{451,259 \cdot 10^3}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,2 = 0,000987 \text{ см},$$

$$y_y = \frac{316,815 \cdot 10^3}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,2 = 0,000693 \text{ см},$$

Визначимо результуючий прогин:

$$y_1 = \sqrt{y_x^2 + y_y^2} = 0,00126 \text{ см.}$$

Визначимо результуючий кут нахилу осі вала:

$$Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} = 0,000121 \text{ рад.}$$

Усі отримані значення входять у межі припустимих значень.

Розрахуємо вал II (рисунок 3.13).

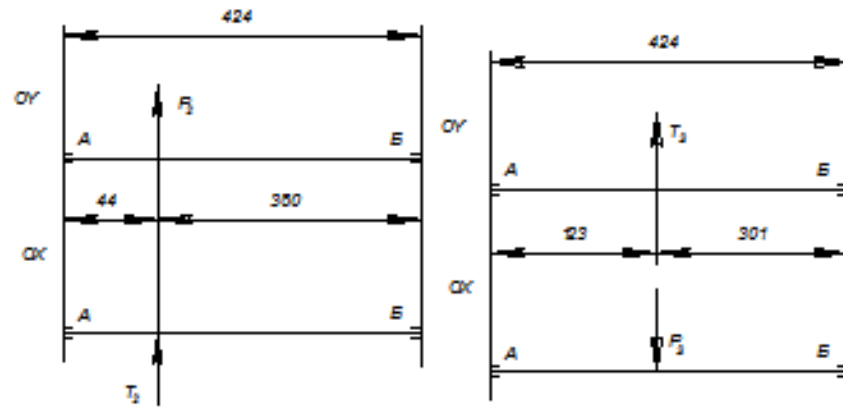


Рисунок 3.13 - Розрахункова схема другого вала

$$Q_{x1} = \frac{-450,468 \cdot 42,4^2}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot (-0,1) = 0,000177 \text{ рад.},$$

$$Q_{x2} = \frac{-115,311 \cdot 42,2^2}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,25 = -0,000113 \text{ рад.},$$

$$Q_{y1} = \frac{-163,957 \cdot 42,4^2}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot (-0,1) = 0,000436 \text{ рад.},$$

$$Q_{B2} = \frac{890 \cdot 30,7^2}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,01 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ рад.},$$

$$y_{x1} = \frac{-450,468 \cdot 42,2^3}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,06 = -0,004508 \text{ см,}$$

$$y_{x2} = \frac{-115,311 \cdot 42,4^3}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,15 = -0,00289 \text{ см,}$$

$$y_{y1} = \frac{-1163,957 \cdot 42,4^3}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,06 = 0,00164 \text{ см,}$$

$$y_{y2} = \frac{-316,815 \cdot 42,4^3}{10^7 \cdot 2,6^4} \cdot 0,15 = 0,000793 \text{ см.}$$

Визначимо результуючий прогин:

$$y_1 = \sqrt{y_{x1}^2 + y_{y1}^2} = 0,00480 \text{ см,}$$

$$y_2 = \sqrt{y_{x2}^2 + y_{y2}^2} = 0,000844 \text{ см.}$$

Визначимо результуючий кут нахилу осі вала:

$$Q_1 = \sqrt{Q_{x1}^2 + Q_{y1}^2} = 0,000471 \text{ рад.},$$

$$Q_2 = \sqrt{Q_{x2}^2 + Q_{y2}^2} = 0,0001685 \text{ рад.}.$$

Отримані значення перебувають у межах припустимих.

Розрахуємо вал III (рисунок 3.14).

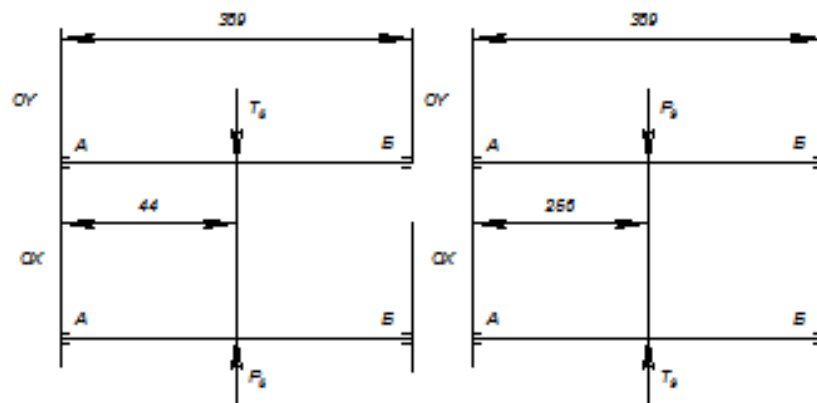


Рисунок 3.14 - Розрахункова схема третього вала

$$Q_{x1} = \frac{144,139 \cdot 38,9^2}{10^7 \cdot 3,2^4} \cdot 0,18 = 0,0000374 \text{ рад.},$$

$$Q_{x2} = \frac{376,722 \cdot 38,9^2}{10^7 \cdot 3,2^4} \cdot 0,18 = 0,0000944 \text{ рад.},$$

$$Q_{y1} = \frac{-396,019 \cdot 38,9^2}{10^7 \cdot 3,2^4} \cdot 0,18 = -0,000102 \text{ рад.},$$

$$Q_{y2} = \frac{-137,116 \cdot 38,9^2}{10^7 \cdot 3,2^4} \cdot 0,18 = -0,0000343 \text{ рад.},$$

$$y_{x1} = \frac{144,139 \cdot 38,9^3}{10^7 \cdot 3,2^4} \cdot 0,2 = 0,00127 \text{ см},$$

$$y_{x2} = \frac{376,722 \cdot 38,9^3}{10^7 \cdot 3,2^4} \cdot 0,2 = 0,000846 \text{ см},$$

$$y_{y1} = \frac{-396,019 \cdot 38,8^3}{10^7 \cdot 3,2^4} \cdot 0,2 = -0,00444 \text{ см},$$

$$y_{y2} = \frac{-137,116 \cdot 38,9^3}{10^7 \cdot 3,2^4} \cdot 0,2 = -0,00146 \text{ см}.$$

Визначимо результуючий прогин:

$$y_1 = \sqrt{y_{x1}^2 + y_{y1}^2} = 0,00462 \text{ см}, \quad y_2 = \sqrt{y_{x2}^2 + y_{y2}^2} = 0,00169 \text{ см}.$$

Визначимо результуючий кут нахилу осі вала:

$$Q_1 = \sqrt{Q_{x1}^2 + Q_{y1}^2} = 0,00011 \text{ рад.},$$

$$Q_2 = \sqrt{Q_{x2}^2 + Q_{y2}^2} = 0,000100 \text{ рад.}.$$

Отримані значення перебувають у межах припустимих.

Розрахунки валів на вібростійкість При обертанні незбалансованого вала, що має кінцеву твердість підшипників, вісь вала під дією сил зміщається щодо осі обертання й прогинається, роблячи процесійний рух. Зі збільшенням кутової частоти обертання, зсув і прогини зростають і стають особливо значними при критичному значенні частоти $\omega_{кр}$. Збільшення частоти обертання понад критичне значення приводить до зменшення зсуву й прогинів осі вала, і він самоцентрується. Це явище супроводжується появою значних знакозмінних навантажень і вібраціями всього механізму.

Розрахунки на вібростійкість зводиться до визначення критичної частоти обертання й порівнянню її з робочим діапазоном частот обертання шпинделя. Уважається, що небезпека резонансу не виникає, якщо граничні швидкості робочого діапазону відрізняється від критичної частоти більш ніж на 25%:

$$\omega_{\max} < 0,75\omega_{\text{кр}} [4],$$

де $\omega_{\max}=2\pi n_{\max}$.

Точний розрахунки критичної частоти обертання є досить складним завданням, тому на практиці використовується спрощена розрахункова схема.

Критична частота обертання визначається по формулі [4]:

$$\omega_{\text{кр}}^4 + \omega_{\text{кр}}^2 \left(\frac{j_1 a^2 + j_2 a^2}{I_x - I_y} - \frac{j_1 + j_2}{m} \right) - \frac{j_1 j_2 (a + b)^2}{m(I_x - I_y)} = 0,$$

де j_1, j_2 - твердість відповідно першої й другої опори;

m - маса;

I_x, I_y - моменти інерції щодо головних осей інерції;

a, b - відстані від центру мас до першої й другий опор.

Моменти інерції циліндра:

$$I_x = \frac{1}{2} m R^2,$$

$$I_y = \frac{1}{12} m l^2 + \frac{1}{4} m R^2.$$

Твердості опор визначаються по формулі [4]:

$$j = \frac{P}{y}.$$

Визначимо $\omega_{\text{кр}}$ для вала II.

Знайдемо масу вала як добуток об'єму на щільність матеріалу:

$$m = V \cdot \rho.$$

Знаючи розміри вала й щільність стали, знаходимо, що $m=1,732$ кг.

Знайдемо твердості опор:

$$j_1 = \frac{479,378}{0,0000480} = 9,987 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2, j_2 = \frac{337,147}{0,00000844} = 3,995 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2.$$

Знайдемо моменти інерції:

$$I_x = \frac{1,732 \cdot 0,013^2}{2} = 1,464 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м},$$

$$I_y = \frac{1,732 \cdot 0,424^2}{12} + \frac{1,732 \cdot 0,013^2}{4} = 0,026 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

Відстані a і b від опор до центру мас вала рівні: $a=b=0,212 \text{ м}$.

Підставимо обчислені значення в рівняння, одержимо:

$$\omega_{кр}^4 + \omega_{кр}^2 (-1,359 \cdot 10^7) - 3,578 \cdot 10^8 = 0.$$

Ухвалюємо $\omega_{кр}^2 = z$, вирішуємо квадратне рівняння. Одержуємо $\omega_{кр} = 13928.2 \text{ хв}^{-1}$.

Зрівняємо це значення з $\omega_{тах}$ вала II. $\omega_{тах} = 7912,8 \text{ хв}^{-1}$.

$$13928 \cdot 0,75 = 10446 > 7912,8.$$

Таким чином, умова вібростійкості вала II виконується.

Визначимо $\omega_{кр}$ валів I і III аналогічним способом. Одержимо наступні значення:

$$\text{для вала I } \omega_{кр} = 26017 \text{ хв}^{-1} \quad 19513 > 8792;$$

$$\text{для вала III } \omega_{кр} = 20080 \text{ хв}^{-1} \quad 15.060 > 9922,4$$

Для обох валів умова вібростійкості так само виконується.

3.3.8 Розрахунки шпинделя

Розрахунки шпинделя на міцність

Для розрахунків шпинделя на міцність складемо схему навантаження шпинделя (рисунок 3.15). У відповідності зі схемою навантаження складемо розрахункову схему шпинделя (рисунок 3.16).

Здійснимо розрахунок шпинделя на міцність.

Визначимо окружні й розпірні зусилля в зачепленні:

$$P_9 = \frac{2 \cdot M_4}{d_9} = \frac{20,343 \cdot 2}{0,108} = 376,722 \text{ Н},$$

$$P_{9y} = P_9 \cdot \cos 30^\circ = 326,251 \text{ Н}.$$

$$P_{9x} = P_9 \cdot \sin 30^\circ = 188.361 \text{ Н}.$$

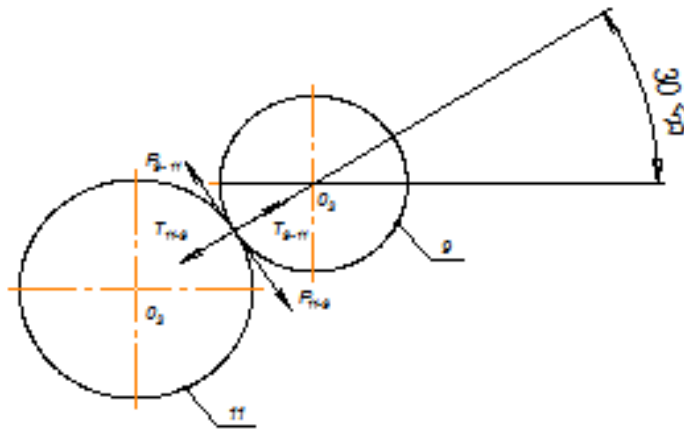


Рисунок 3.15 - Схема вантажень шпинделя

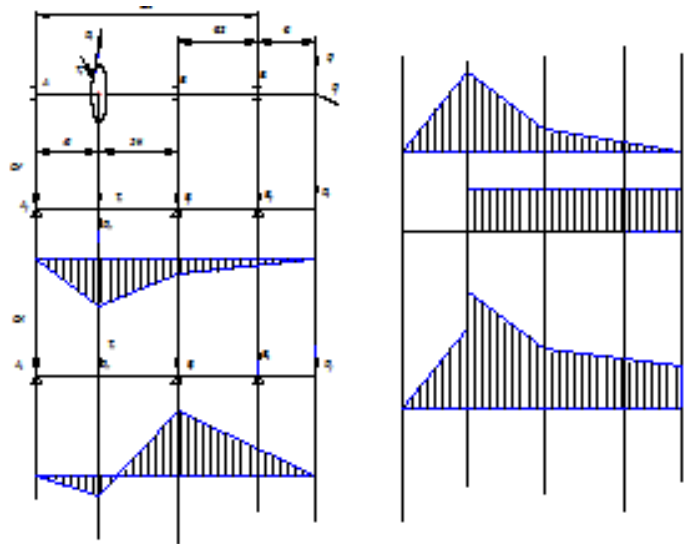


Рисунок 3.16 - Розрахункова схема шпинделя

$$T_9 = P_9 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 137,116 \text{ Н.}$$

$$T_{9y} = T_9 \cdot \sin 30^\circ = 118,746 \text{ Н.}$$

$$T_{9x} = T_9 \cdot \cos 30^\circ = 68,558 \text{ Н.}$$

$$P_z = 1471,46 \text{ Н.}$$

$$P_y = 588,584 \text{ Н.}$$

Визначимо опорні реакції шпинделя:

$$A_y = -2513,3581 \text{ Н.}$$

$$A_x = -784,058 \text{ Н.}$$

$$B_y = 4275,6215 \text{ Н.}$$

$$B_x = 1767,451 \text{ Н.}$$

Сила реакції опори підшипника В рівні 0.

Результуючі згинальні моменти:

$$M_{H1} = \sqrt{208,773^2 + 10,727^2} = 208,773 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{H2} = \sqrt{25,4935^2 + 39,823^2} = 41,243 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Еквівалентні моменти:

$$M_{ЭК1} = \sqrt{20,343^2 + 208,773^2} = 209,762 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{ЭК2} = \sqrt{20,343^2 + 39,823^2} = 45,987 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Діаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{ЭК}}{0,1 \cdot \sigma_{из}}}.$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{209,762}{0,1 \cdot 60}} \geq 32,7 \text{ мм}.$$

Ухвалюємо $d=35 \text{ мм}$.

Розрахунки шпинделя на кінематичну точність

Конструкція, точність виготовлення й складання шпиндельного вузла багато в чому визначають точність, надійність і в остаточному підсумку працездатність металорізальних верстатів. У зв'язку із цим до точності обертання, твердості, вібростійкої й зносостійкості шпиндельних вузлів пред'являються особливі вимоги й особливо на стадії проектування.

Точність обертання характеризується звичайно биттям переднього кінця шпинделя й визначається точністю як самого шпинделя, так і класом точності підшипників (рисунок 3.17) [4, 30, 35].

Радіальне биття кінця двохопорного шпинделя визначається по формулі [4]:

$$\varepsilon = \varepsilon_A \frac{l_1}{l_0} + \varepsilon_B \frac{l_1 + l_0}{l_0} + \varepsilon_{III},$$

де ε_A , ε_B - радіальне биття підшипників відповідно в задній і передній опорах;

$\varepsilon_{\text{ш}}$ - радіальне биття, пов'язане з геометричними погрішностями шпинделя;

l_0 - відстань між опорами;

l_1 - довжина консольного кінця шпинделя.

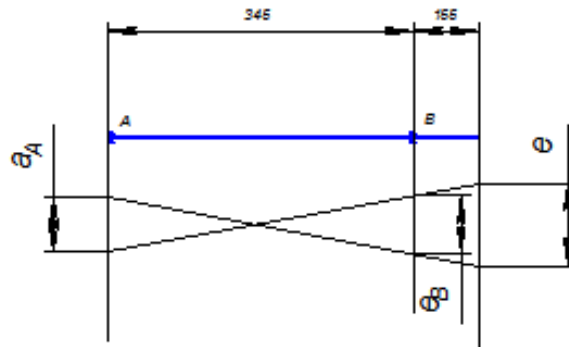


Рисунок 3.17 - Схема для розрахунків шпинделя на кінематичну точність

Радіальне биття підшипників становить $\frac{2}{3}$ від радіального биття кінця шпинделя:

$$[\varepsilon] \cdot \frac{2}{3} = \varepsilon_A \frac{l_1}{l_0} + \varepsilon_B \frac{l_1 + l_0}{l_0}.$$

Маємо припустиме радіальне биття, пов'язане з геометричними погрішностями шпинделя [5] $\varepsilon_{\text{ш}}=0,025$, радіальне биття підшипників A і B [4]: $\varepsilon_A=0,01$, $\varepsilon_B=0,006$, $l_1=155$ мм, $l_0=345$ мм. Знайдемо радіальне биття кінця шпинделя по формулі:

$$\varepsilon = \frac{3}{2} \left(\varepsilon_A \frac{l_1}{l_0} + \varepsilon_B \frac{l_1 + l_0}{l_0} \right).$$

$$\varepsilon = \frac{3}{2} \left(0,01 \frac{155}{345} + 0,006 \frac{500}{345} \right) = 0,0198 < 0,025.$$

З розрахунку видно, що радіальне биття кінця шпинделя перебуває в припустимих межах.

Розрахунки шпинделя на твердість

Розрахунки шпинделя на твердість проводиться аналогічно розрахункам валів (п.3.7.2). Для розрахунків скористаємося розрахунковою схемою шпинделя, зображеного на рисунку 3.18.

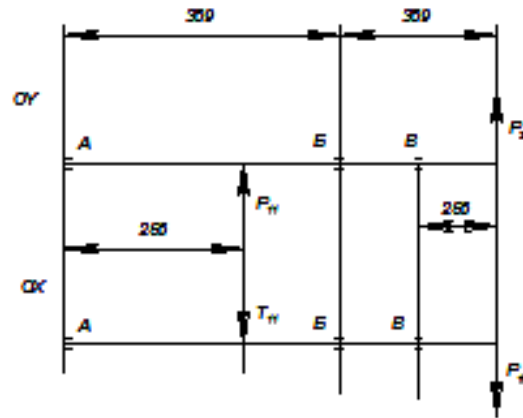


Рисунок 3.18 - Розрахункова схема шпинделя

Визначимо кути нахилу осі шпинделя:

$$Q_{x1} = \frac{-376,722 \cdot 17,6^2}{10^7 \cdot 4,2^4} \cdot 0,1 = -0,00000375 \text{ рад.},$$

$$Q_{x2} = \frac{-1471,46 \cdot 32,4^2}{10^7 \cdot 4,2^4} \cdot 0,21 = -0,0000993 \text{ рад.},$$

$$Q_{y1} = \frac{137,116 \cdot 17,6^2}{10^7 \cdot 4,2^4} \cdot 0,1 = 0,00000136 \text{ рад.},$$

$$Q_{y2} = \frac{588,584 \cdot 32,4^2}{10^7 \cdot 4,2^4} \cdot 0,2 = 0,0000397 \text{ рад.}.$$

Визначимо прогини шпинделя:

$$y_{x1} = \frac{-376,722 \cdot 17,6^3}{10^7 \cdot 4,2^4} \cdot 0,17 = 0,000112 \text{ см},$$

$$y_{x2} = \frac{-1471,46 \cdot 32,4^3}{10^7 \cdot 4,2^4} \cdot 0,05 = 0,000804 \text{ см},$$

$$y_{y1} = \frac{137,116 \cdot 17,6^3}{10^7 \cdot 4,2^4} \cdot 0,17 = 0,00000232 \text{ см},$$

$$y_{y2} = \frac{588.584 \cdot 32,4^3}{10^7 \cdot 4,2^4} \cdot 0,05 = 0,000322 \text{ рад.}$$

Визначимо результуючий прогин:

$$y_1 = \sqrt{y_{x1}^2 + y_{y1}^2} = 0,000112 \text{ см},$$

$$y_2 = \sqrt{y_{x2}^2 + y_{y2}^2} = 0,000166 \text{ см.}$$

Визначимо результуючий кут нахилу осі вала:

$$Q_1 = \sqrt{Q_{x1}^2 + Q_{y1}^2} = 0,00000399 \text{ рад.},$$

$$Q_2 = \sqrt{Q_{x2}^2 + Q_{y2}^2} = 0,000107 \text{ рад.}$$

Припустимі значення прогину й кута нахилу осі шпинделя:

$$y \leq 0,2 \cdot m_i,$$

де m_i - модуль зубчастого колеса;

$$\theta \leq 0,001 \text{ рад.}$$

$$m_i=3 \Rightarrow y \leq 0,06 \text{ см.}$$

Усі отримані значення входять у межі припустимих значень.

Розрахунки шпинделя на вібростійкість

Розрахунки шпинделя на вібростійкість проводиться аналогічно розрахункам валів, описаному в п.3.7.3.

Момент інерції шпинделя знаходимо як момент інерції порожнього циліндра по формулах [4]:

$$I_x = \frac{m(R^2 + r^2)}{2},$$

$$I_y = \frac{m(l^2 + 3(R^2 + r^2))}{12}.$$

Масу шпинделя визначимо як добуток об'єму на щільність стали, $m=4,148 \text{ кг.}$

Момент інерції шпинделя рівний:

$$I_x = 9,146 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}, \quad I_y = 0,022 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

Розрахуємо інші параметри, використовуючи формули, наведені в п.3.7.3.

Твердість опор рівна:

$$j_1 = 3,579 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2, \quad j_2 = 9,547 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2.$$

Підставивши отримані значення в рівняння, одержимо:

$$z^2 + 5,151 \cdot 10^{11} z + 4,144 \cdot 10^8 = 0.$$

Розв'язавши дане рівняння й прийнявши в увагу, що $z = \omega_{\text{кр}}^2$, одержимо:

$$\omega_{\text{кр}} = 44741 \text{ хв}^{-1}.$$

$$\omega_{\text{max}} = 15826 \text{ хв}^{-1}.$$

$$44741 \cdot 0,75 = 33555 > 15826 \text{ хв}^{-1}.$$

Таким чином, шпиндель верстата задовольняє умові вібростійкої.

3.3.9 Розрахунки механізму перемикання швидкостей

Система керування верстатом складається з механічних, електричних, гідравлічних і пневматичних пристроїв, використовуваних для передачі команди виконавчому органу; керуючого органа - рукоятки, кнопки, кінцевого перемикача й т.п.; виконавчого органа (качани, рейки, важеля й ін.), що переміщає відповідну частину верстата.

Системи керування можна розділити на ручні й автоматичні. При ручному керуванні всі перемикання циклу здійснюються робітником за допомогою рукояток, важелів, штурвалів або кнопок. Перемикання циклу здійснюються за допомогою рукоятки й перемикача [12].

У проєктованій коробці швидкостей ручний механізм перемикання швидкостей. Перемикання діапазону швидкостей здійснюється за допомогою

рукояток, які переміщують пересувні блоки коліс. У якості виконавчого органа для перемикання блоку використовується повзун з вилкою. При цьому повзун з вилкою рухається по напрямній качалці й за допомогою вилки переміщає блок. У цій конструкції при повороті рукоятки повертається зубчастий сектор, який у свою чергу через повзун переміщає блок зубчастих коліс (рисунок 3.19).

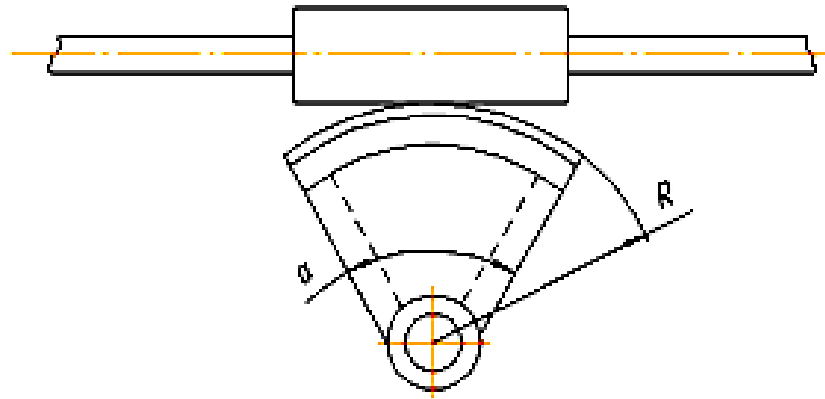


Рисунок 3.19 - Ручний механізм перемикання швидкостей

Визначимо радіус зубчастого сектору по формулі:

$$R = \frac{L}{\alpha},$$

де L - довжина ходу повзуна,

α - кут сектору в радіанах.

Знаючи величини L і α , знаходимо R :

$$R = \frac{2 \cdot 168}{\pi} = 122 \text{ мм.}$$

Розрахували зубчастий сектор, що здійснює пересування першого блоку коліс.

Розрахуємо зубчастий сектор для пересування другого блоку коліс.

$$R = \frac{L}{\alpha} \Rightarrow \alpha = \frac{L}{R} \Rightarrow n = \frac{\pi \cdot R}{L};$$

$$n = \frac{\pi \cdot 122}{131} = 3 \Rightarrow \alpha = 60^\circ.$$

3.3.10 Розрахунки муфт

Муфти служать для з'єднання валів або валів з деталями, що вільно обертаються на них (зубчастими колесами, шківками й т.п.), з метою передачі обертання без зміни швидкості. Відомо, що більшість пристроїв, систем компонують із окремих вузлів із вхідними й вихідними валами.

З'єднання валів є основним, але не єдиним призначенням муфт. Муфти застосовують для включення й вимикання виконавчого органа при безупинно працюючому двигуні, для запобігання робочих органів від перевантажень і надмірно більших швидкостей, для передачі руху між валами тільки в одному напрямку, для зупинки як гальма й інших функцій.

Глухі тверді муфти використовують при передачі руху між співвісними валами, які повинні працювати як єдиний вал. рухливі муфти, Що компенсують, застосовують при передачі руху між неспіввісними валами при наявності невеликих радіальних, осьових, кутових або комбінованих зсувів осей валів. Пружними муфтами користуються для зм'якшення поштовхів, динамічних навантажень при передачі обертового моменту між валами. Запобіжні муфти застосовують щоб уникнути поломки деталей механізму через перевантаження. Обгінні муфти використовують для передачі руху тільки в одну сторону.

Муфти по керованості передачею обертання між валами, що з'єднуються, ділять на три групи:

- 1) муфти постійні, що здійснюють постійне з'єднання валів, - глухі, що компенсують, пружні;
- 2) муфти керовані, забезпечують режим " включене-виключене" за допомогою: дистанційного (електричного) керування - електромагнітні, магнітопорошкові (магніторідинні), пьезокристалічні; ручного (механічного) керування - зубчасті, кулачкові, фрикційні;
- 3) муфти самокеровані, що здійснюють автоматичне роз'єднання або з'єднання валів: по величині переданого моменту - запобіжні; по швидкості обертання - відцентрові; по напрямкові обертання - обгінні.

У даному проекті здійснимо розрахунок муфти пружної втулично-пальцевий. Ці муфти застосовуються для з'єднання валів і передачі крутних моментів від електродвигунів. Зм'якшують удари по засобах пружних втулок, компенсують невеликі перекося валів і неспіввісності валів.

Розрахунки даного виду муфт зводиться до перевірки пружних елементів на зминання робочих поверхонь по формулі [2]:

$$\sigma_{cm} = \frac{M_p}{R \cdot z \cdot d_n (l_2 - s)} \leq [\sigma_{cm}],$$

де M_p - розрахунковий крутний момент,

d_n - діаметр пальця;

z - число пальців;

l_2 - довжина пружної втулки;

$[\sigma_{cm}]$ - зминання, напруга що допускається $[\sigma_{cm}] = 18 - 20 \text{ кг/см}^2$.

Усі необхідні розміри встановлює ДЕРЖСТАНДАРТ 21424-93.

$$\sigma_{cm} = \frac{31,5 \cdot 1,25}{29 \cdot 4 \cdot 10 (19 - 4)} = 18,8 \text{ кг/см}^2.$$

Дана напруга на зминання входить у діапазон припустимих.

Також при розрахунках даного виду муфт перевіряють пальці на вигин по рівнянню:

$$\sigma_u = \frac{5 \cdot M_p \cdot l_2}{R \cdot z \cdot d_n^3} \leq [\sigma_u],$$

де $[\sigma_u] = 800 - 900 \text{ кг/см}^2$, що допускається напруга на вигин для пальців.

$$\sigma_u = \frac{5 \cdot 31,5 \cdot 1,25 \cdot 19}{29 \cdot 4 \cdot 10^3} = 697 \text{ кг/см}^2.$$

Дана напруга на вигин для пальців входить у діапазон припустимих.

3.4 Система змащення у верстаті

В агрегатних верстатах крім системи керування є й інші, допоміжні системи [35].

В агрегатних верстатах застосовується комбінована система змащення: індивідуальне змащення агрегатів, централізоване імпульсна система напрямних багатошпиндельних насадок, кондукторів, що направляють силових столів.

Система змащення агрегатного верстата складається з бака, плоскої установки, фільтрів, трубопроводів із кранами, клапанів і інших елементів.

Система охолодження повинна забезпечувати подачу мастильно-охолодної рідини (МОР) по всіх різальних інструмент одночасно в кількості необхідному для даного інструмента й відповідного якості.

Обсяг бака мастильно-охолодної рідини повинен забезпечувати не менш чому п'ятихвилинну роботу насосів.

Мастильно-охолодна рідина вибирається в залежності матеріалу деталі, способу, виду й режимів різання.

Найбільш універсальним є емульсія “ Укрінол -1”, застосовуваний при обробки деталей зі сталей і чавуну.

4. РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЗУСИЛЛЯМ РІЗАННЯ АГРЕГАТНОГО ВЕРСТАТА

4.1 Опис схеми САК

На рисунку 4.1 показана принципова схема автоматичної системи регулювання зусиллям різання. На схемі 1 - заготовка, ДМ_{кр} - магнітопружний датчик крутного моменту, 2 - підсилювач, 3 - перетворювач частоти струму, 4 - підсумовуючий пристрій, 5 - виконавчий орган (асинхронний трифазний електродвигун)

Принцип роботи.

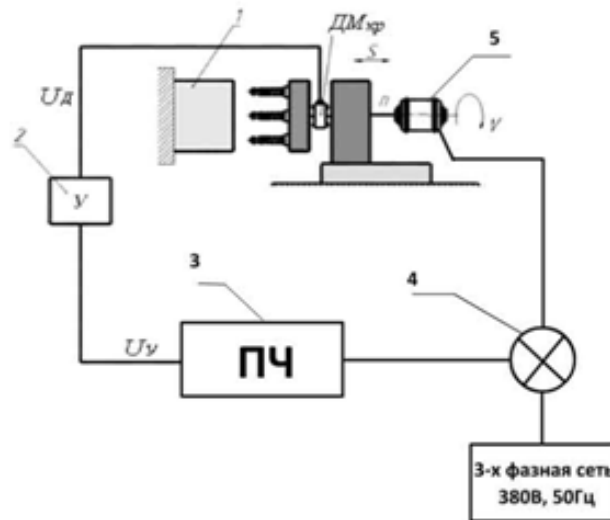


Рисунок 4.1 - Автоматична система

У процесі обробки заготовки інструментом виникають реактивні зусилля різання, які у свою чергу створюють нерівномірне навантаження на систему ВПД, що приводить до вібрацій у верстаті, порушенням точності й поломці інструмента. Розв'язок цієї проблеми - установка автоматичної системи контролю й регулювання цими зусиллями різання. Розроблена система має: магнітопружний датчик крутного моменту, який установлений на головному валу (шпиндель) агрегатного верстата, що й замірять показання крутного моменту різання (зусилля) за рахунок зміни електромагнітного поля

на валу шпинделя, отриманий сигнал підсилюється в підсилювачі 2 і подається на хід перетворювача частоти струму 3, де автоматичний змінюється частота й напруга струму необхідного для регулювання живленням виконавчого органа 5, перетворений сигнал підсумується з мережним струмом у трансформаторі 4 [1-15].

На рисунку 4.2 показана функціональна схема автоматичної системи.

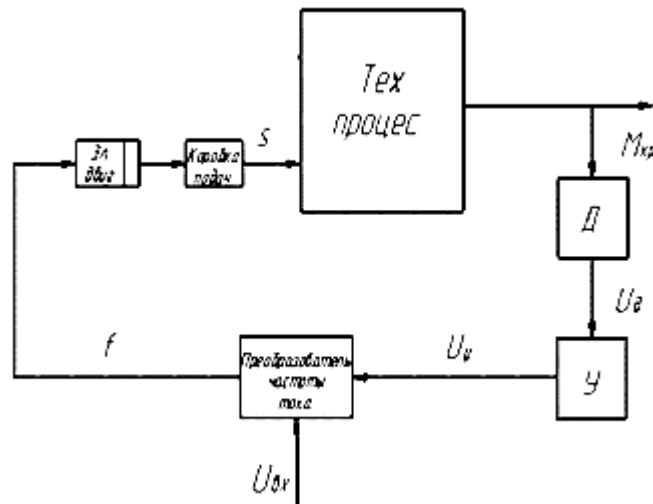


Рисунок 4.2 Функціональна схема САК

4.2 Математичні моделі окремих елементів і ланок САК

4.2.1 Технологічний процес.

До технологічного процесу, для зручності розв'язку включаємо механічні частини верстата - коробки швидкостей, коробка подачі, а також сам процес різання.

Для побудови математичної моделі всієї автоматичної системи доцільно спочатку окремо розглянути її кожну ланку.

Розглянемо технологічний процес із метою визначення в ньому виникаючих навантажень.

Момент різання рівний:

$$M_p = \mu_p \cdot P_y,$$

де μ_p - постійний коефіцієнт, що залежить від геометрії ріжучої частини інструмента й оброблюваного матеріалу.

Рівняння динаміки привода:

$$J \frac{d\omega}{dt} + \alpha\omega + M_p = 0 \quad (4.1)$$

де J - момент інерції частин, що рухаються;

ω - кутова швидкість інструмента;

α - коефіцієнт грузлого тертя;

M_p - момент від сили різання. $M_p = 20$ год $65 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Перетворимо (2.1):

$$\frac{J}{\alpha} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = M_p \cdot \frac{1}{\alpha}, \quad \text{або} \quad T_1 \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_m \cdot M_p,$$

звідси:

$$T \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_m \cdot M_p,$$

де: $T_1 = \frac{J}{\alpha} = 0.15(\text{с}), \quad K_m = \frac{1}{\alpha},$

Розв'язок даного диференціального рівняння має вигляд:

$$\omega = K_m M_p \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right),$$

отже, перехідний процес здійснюється по експоненті (рис.4.3).

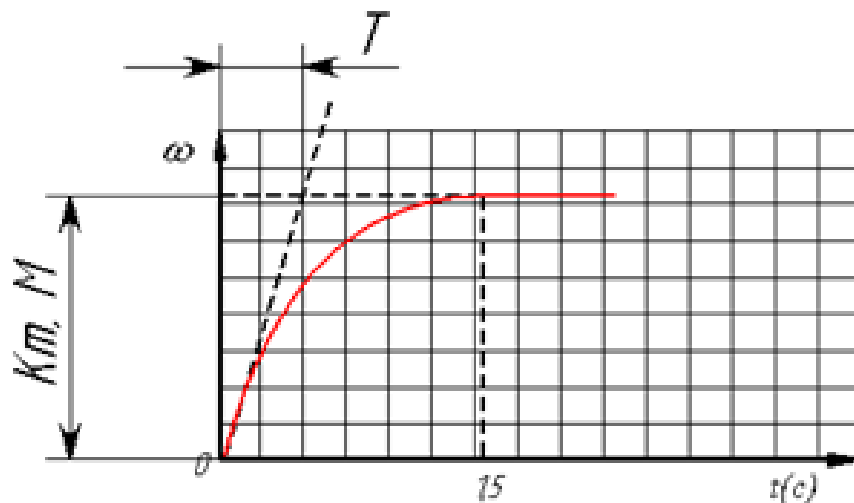


Рисунок 4.3 - Перехідний процес електропривода.

Передатна функція ланки:

$$W_m(p) = \frac{K_m}{T_1 \cdot p + 1} \quad (4.2)$$

де: $\frac{d}{dt} = p$

Вимір крутного моменту на шпинделі дає більше переваг, відпадає необхідність установки окремих датчиків на окремі інструменти й спрощується установка самого датчика.

Магнітопружний датчик крутного моменту.

На рис.4.4 показана структурна схема датчика, з якої видно, що конструкція його складається з безлічі ланок з'єднаних між собою послідовно.



Рисунок 4.4 Структурна схема МДМ датчика

У - вимірюваний вал; ТП - трансформаторні перетворювачі; ВП - напівпровідникові випрямлячі; Ф - фільтр.

Передатна функція датчика з урахуванням послідовного з'єднання його ланок:

$$W_d(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p) \left[\sum_{i=1}^k W_i(p) \right] = W_{2d}(p) W_3(p) W_4(p) W_1(p).$$

$W_1(p)$ - передатне відношення, що залежить від завантаженості вимірюваного вала. Тому що вал працює в пружній зоні деформації, те тут згідно із законом Гука справедливо лінійна залежність передатного відношення.

$$\Delta W_1(p) = \frac{\beta}{M_p} = \varepsilon$$

де ε - модуль пружності вала.

Трансформаторний перетворювач за умови, що частота струму порушення значно більше частоти зміни преутвореної вхідної величини, можна вважати безінерційним підсилювачем. Його передатна функція:

$$W_2(p) = K_D,$$

$$\text{де: } K_D = \frac{16\mu_0^2 \omega_B \omega_H P_B S_B S_H u_D f I_B}{\mu^2 h \delta^2},$$

де: u_0 - магнітна постійна;

ω_B, ω_H - число витків котушок виміру й порушення;

P_B - число пар полюсів порушення;

S_B, S_H - площі проекції на поверхню вала полюсів порушення й виміру відповідно;

I_B - діюче значення струму в полюсній котушці обмотки збудження;

h - деяка середня глибина проникнення магнітного потоку в тіло вала.

Випрямляч також є без інерційною ланкою з передатною функцією:

$$W_3(p) = K_D,$$

$$\text{де: } K_D = \frac{2\sqrt{2rr_H}}{(r+r_H)\sqrt{r^2+x_H^2}},$$

де: r - опір вимірювальної схеми діфдуктора;

r_h - активний опір навантаження;

x_H - індуктивний опір вимірювальної обмотки.

Таким чином, можна вважати, вихідну характеристику датчика лінійної, і його математична модель має вигляд:

$$\Delta U = \Delta M_p \cdot K_D \quad (4.3)$$

де: ΔU - зміна напруги датчика;

ΔM_p - момент різання;

K_D - коефіцієнт підсилення датчика.

Коефіцієнт підсилення датчика:

$$K_D = \operatorname{tg} \alpha$$

Передатна функція датчика:

$$W_D(p) = \frac{\Delta U(p)}{M_p(p)} \quad (4.4)$$

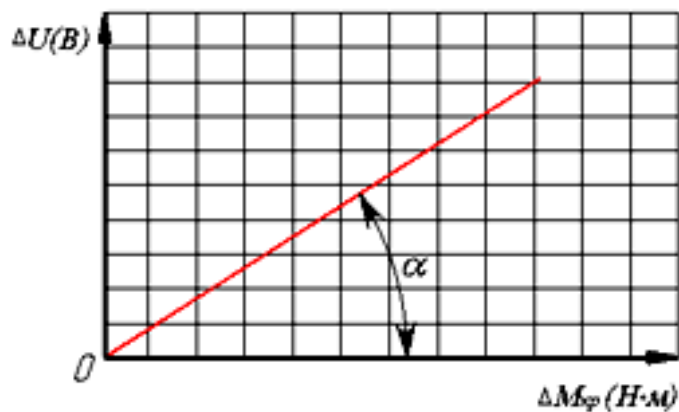


Рисунок 4.5 Залежність вихідного сигналу від крутного моменту

Підсилювач.

Підсилювач напруги в даній автоматичній системі призначений для посилення сигналу і є чотирьоканальним типу УТ4-1.

У приладі використовується принцип посилення корисного сигналу на несучій частоті, він містить у собі, що задає генератор і чотири самостійні каналні підсилювачі.

Блок схема приладу наведена на рис. 4.6.

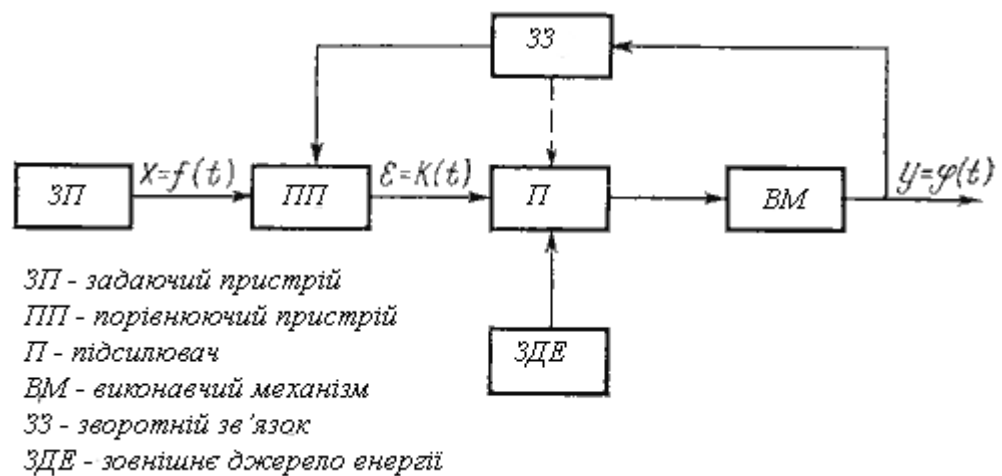


Рисунок 4.6 - Блок-схема одного каналу підсилювача

Математична модель підсилювача має вигляд:

$$\Delta U_y = \Delta U \cdot K_y \quad (4.5)$$

де ΔU_y - посилена напруга;

ΔU - напруга датчика;

K_y - коефіцієнт підсилення підсилювача.

Передатна функція:

$$W_y(P) = \frac{\Delta U_y}{\Delta U} \quad (4.6)$$

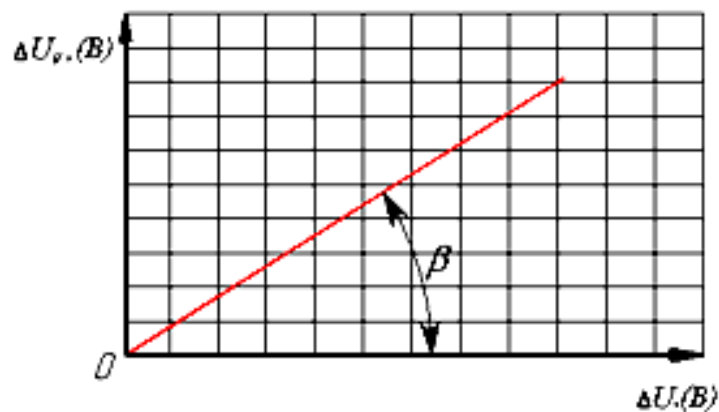


Рисунок 4.7 - Залежність вихідної напруги від сигналу датчика

Коефіцієнт підсилення сигналу рівний:

$$K_y = \operatorname{tg} \Delta U_y / \Delta U$$

Принципи дії датчика й підсилювача, для систем з гідравлічним і електромеханічним приводами подач однакові, що дозволяє при розрахунках використовувати їхні математичні моделі в обох системах без зміни.

Перетворювач частоти струму

Для автоматичних систем керування металорізальним устаткуванням, найбільш підходящим є напівпровідниковий перетворювач моделі VFD-V фірми DELTA, структурна схема, якого показана на рис.4.8.

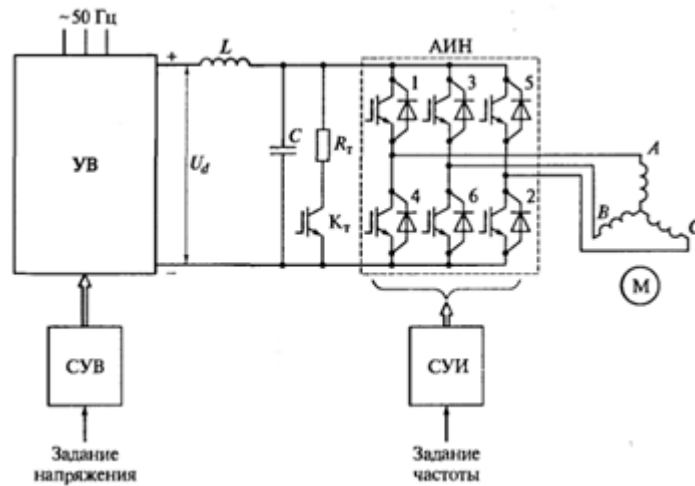


Рисунок 4.8 - Структурна схема перетворювача частоти струму



Рисунок 4.9 - Загальний вид перетворювача частоти струму VFD-V

Даний перетворювач призначений для керування швидкістю обертання трифазних, асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 0,4 до 7,5 кВт, має малі габаритні розміри й порівняно низькою вартістю, а також має ряд переваг і вбудованих функцій, що значно спрощує автоматичну систему:

- Знімний пульт керування з п'ятирозрядним світлодіодним дисплеєм. Пульт дозволяє зберігати й копіювати установки параметрів з одного перетворювача на інші.
- Можливість виводу й контролю на цифровому світлодіодному дисплеї до 50 поточних параметрів привода (частота, струм, напруга, момент, швидкість, коефіцієнт потужності, температура IGBT - модуля, потужність, пороги захисту й т.п.);

- Широкі можливості завдання характеристики U/F при частотному способі керування (п'ять крапок характеристики, що задаються користувачем).
- Стабілізація напруги на двигуні (функція AVR) при зміні напруги живильної мережі.
- Частотний і векторний алгоритми керування в замкненій і розімкнутій системі регулювання швидкості й моменту, у тому числі, при роботі із цифровими датчиками швидкості й цифровим керуванням від master encoder.
- Функція прямого керування моментом.
- Вбудований ПД-Регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор) для ефективної роботи привода в замкненій системі автоматичного регулювання.
- 1 аналоговий вихід ($0 \dots 10V$) із сигналом пропорційним вихідному струму, частоті, напрузі й іншим поточним параметрам
- 1 імпульсний вихід для підключення зовнішнього частотоміра, що контролює вихідну частоту.

Основні характеристики перетворювачів VFD-V представлено в таблиці 4.1.

Математична модель даної ланки аналогічно математичній моделі датчика, як ланка безінерційна.

Коефіцієнти підсилення ланок

$$K_y = 1000 \text{ і } K_n = 1$$

Математична модель перетворювача відповідно

$$f(p) = K_n \Delta U_B \quad (4.7)$$

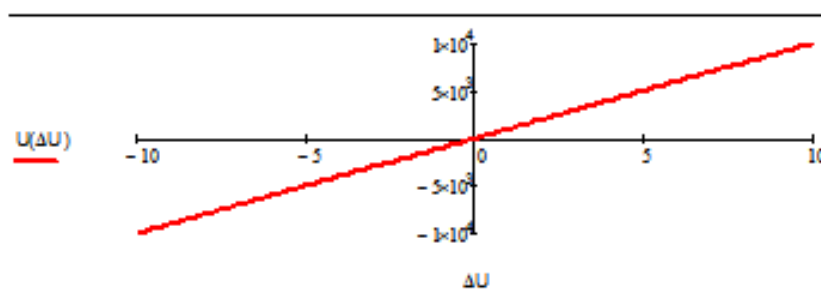


Рисунок 4.10 - Графік зміни струму підсилювача від напруги датчика.

Таблиця 4.1 - Основні характеристики перетворювачів VFD-V

Модель VFD__V43A	007	015	022	037	055	075	10	50	85	20	00	70	50	50	50
Ном. потужність двигуна, кВт	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	1	5	8.5	2	0	7	5	5	5
Повна вихідна потужність, кВт	2.3	3.2	4.6	6.5	9.9	13.7	8	4	9	4	5.7	5.6	9.3	4	14
Ном. вих. струм, А, при M-const	3	4.2	6	8.5	13	18	4	2	8	5	0	5	1	10	50
Ном. вих. струм, А, при M-var	3.8	5.3	7.5	10	16	22	0	0	7	6	5	1	13	38	88
Діапазон регулювання	вих. частоти від 0.1 до 400 Гц, с дискретністю 0,01 Гц, Uвых - від 0 до Uсети														
Перевантажувальна здатність	150% від номінального струму протягом 60 сек														
Параметри живильної мережі	~ 3 × (380 - 460) В ±10%, частотою 50/60Гц ±5%														
Спожив. від мережі струм, А, не більш	4	5.7	7.3	9.9	12.2	17.2	3	8	5	6	0	3	1	30	75
Габарити (шир/вис/глиб.), мм	150 260 160			150 272 184		200 323 183			250 404 205			370 589 260			425 660 264

передатне відношення

$$W_{\text{пр}}(P) = K_{\text{п}},$$

На рис.4.11 показаний перетворювач частоти серії VFD-M, призначений для керування швидкістю обертання трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором потужністю від 0,4 до 7,5 кВт. Джерело живлення ПЧ - трифазна мережа змінного струму - з номінальною напругою 380/400/460В, частотою 50/60Гц.

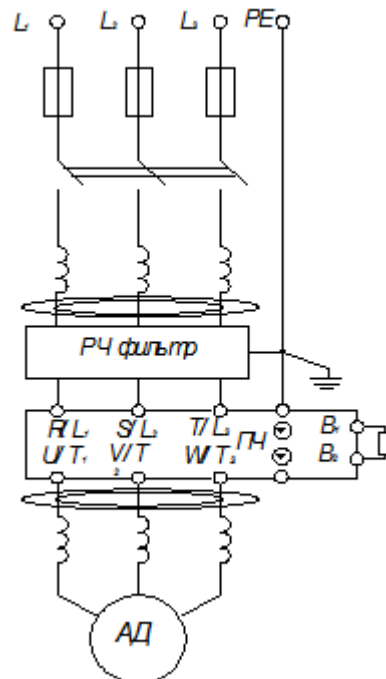


Рисунок 4.11 - Електрична схема промислового перетворювача частоти серії VFD-V.

Асинхронний трифазний електродвигун

Для двигунів основний є механічна характеристика $\omega=f(M)$, тобто залежність частоти обертання від моменту, яка для асинхронного двигуна може бути отримана на підставі вираження (4.7) - аналітичне вираження для електромагнітного моменту) або з урахуванням зв'язку між ковзанням S і частотою обертання ω . Вид механічної характеристики показано на рис 4.12.

$$M = \frac{m_1 \cdot U_c^2 \cdot \frac{R'_p}{S}}{\omega_1 \cdot \left[\left(r_1 + \frac{R'_p}{S} \right)^2 + x'_{rp}{}^2 \right]} \quad (4.8)$$

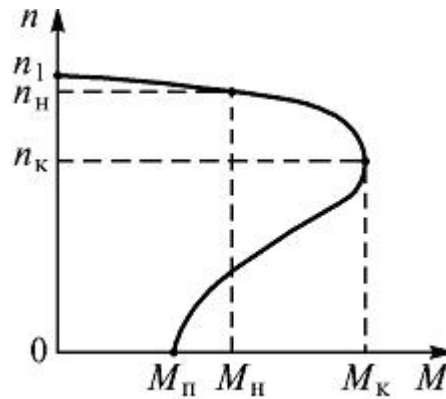


Рисунок 4.12. Механічна характеристика асинхронного трифазного двигуна.

Її можна розбити на дві ділянки - робочий ($0-M_H$) при $0 < S < S_M$ і ділянка пуску (M_K-M_H) при $S_M < S < 1$. Звичайно в асинхронних трифазних двигунах з короткозамкненим ротором $S_M = 0.05 \dots 0.15$, тобто характеристики досить тверді й робоча частота обертання ω_H близька до синхронної ω_1 . Для таких двигунів на робочій ділянці

$$\frac{R'_p}{S} \gg x'_{rp}$$

тобто переважає активна складова опору ротора. Тоді, зневажаючи у формулі (11) опорами x'_{rp} і r_1 у порівнянні з

$$\frac{R'_p}{S},$$

одержимо спрощене вираження для робочої ділянки механічної характеристики

$$M = \frac{m_1 \cdot U_c^2 \cdot S}{\omega_1 \cdot R'_p} = \frac{m_1 \cdot U_c^2 \cdot (\omega_1 - \omega)}{\omega_1^2 \cdot R'_p}$$

звідки

$$\omega = \omega_1 - \frac{R'_p \cdot \omega_1^2}{U_c^2} \cdot M \quad (4.9),$$

де ω - частота обертання ротора, ω_1 - частота обертання поля, U_c - напруга живлення мережі, R'_p - наведений опір ротора.

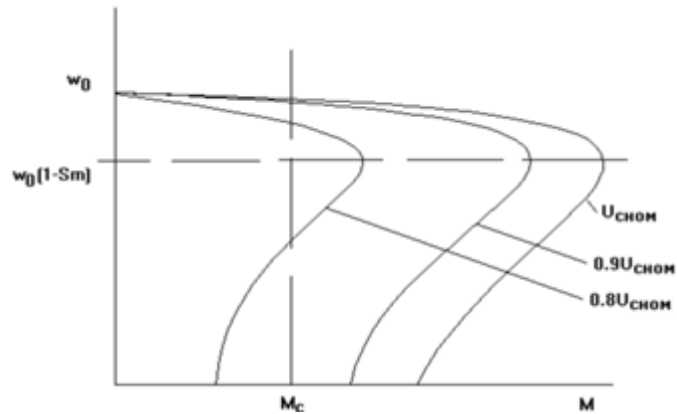


Рисунок 4.13 - Механічна характеристика асинхронного трифазного двигуна.

Як видно з вираження (4.38) і рис 4.13, зміна напруги живлення мало впливає на частоту обертання ротора на робочій ділянці й діапазон керування напругою досить обмежений.

Трохи більший діапазон може бути забезпечений двигуном підвищеного ковзання ($S_M \geq 1$). Однак у цьому випадку механічні характеристики мають більшу крутість (рис 3.14) і усталена робота двигуна може бути досягнута лише при використанні замкненої системи, що забезпечує стабілізацію швидкості. При зміні статичного моменту система регулювання підтримує заданий рівень швидкості й відбувається перехід з однієї механічної характеристики на іншу, у підсумку робота протікає на характеристиках, показаних на штриховими лініями.

Плавне регулювання швидкості в широких межах зі збереженням достатньої твердості характеристик можливо тільки при частотному керуванні. Як видно з формули (4.9), змінюючи частоту обертання поля ω_1 , можна змінювати частоту обертання ротора ω за рахунок першого доданка

формули, при цьому бажане, щоб другий доданок не мінявся, тобто твердість характеристики при цьому не змінювалася.

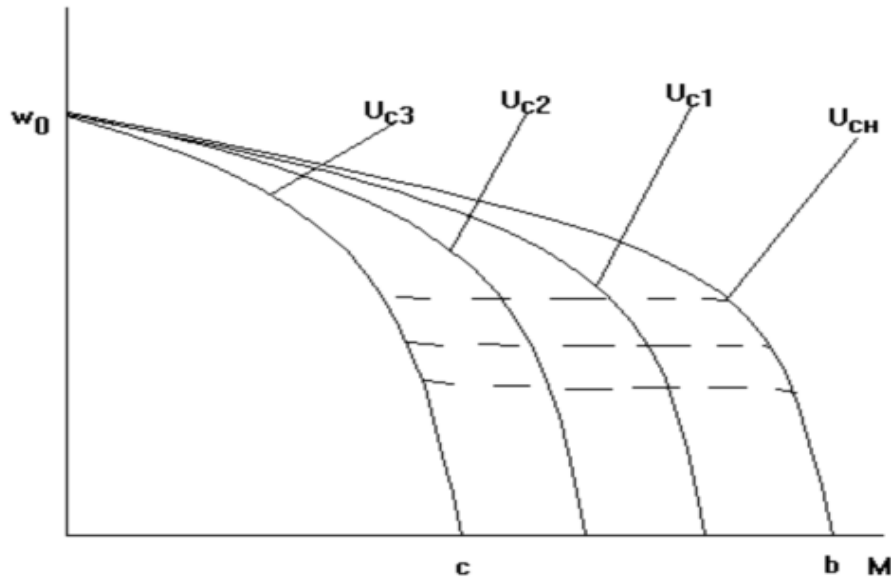


Рисунок 4.14 - Механічна характеристика асинхронного трифазного двигуна.

Для цього одночасно із частотою, змінюють напругу живлення U_c так, щоб їх відношення залишалось постійним

$$\frac{U_c}{\omega} = K = \text{const}$$

Тоді робоча ділянка механічної характеристики при частотному керуванні можна приблизно представити формулою:

$$\omega = \omega_1 - \frac{m_1 \cdot R'_p}{K^2} \cdot M \quad (4.10)$$

Таке керування називається пропорційним частотним керуванням.

Вид механічних характеристик при пропорційному керуванні показано на рис 4.15.

Як динамічна система асинхронний трифазний двигун описується нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку:

$$\frac{L_B M_{\text{пр}}}{k_M} \cdot \frac{d^2 \omega_{\text{дв}}}{dt^2} + \frac{L_B k_v + r_B M_{\text{пр}}}{k_M} \cdot \frac{d\omega_{\text{дв}}}{dt} + k_v \omega_{\text{дв}} = U_B \quad (4.11)$$

де L_B, r_B - відповідно індуктивний і активний опір в обмотці збудження;

$k_v = 15,8$ - коефіцієнт грузлого тертя; $\omega_{\text{дв}}$ - кутова швидкість вихідного вала електродвигуна; k_M - постійна електродвигуна; $U_B = 380 \text{ В}$ - напруга ланцюга.

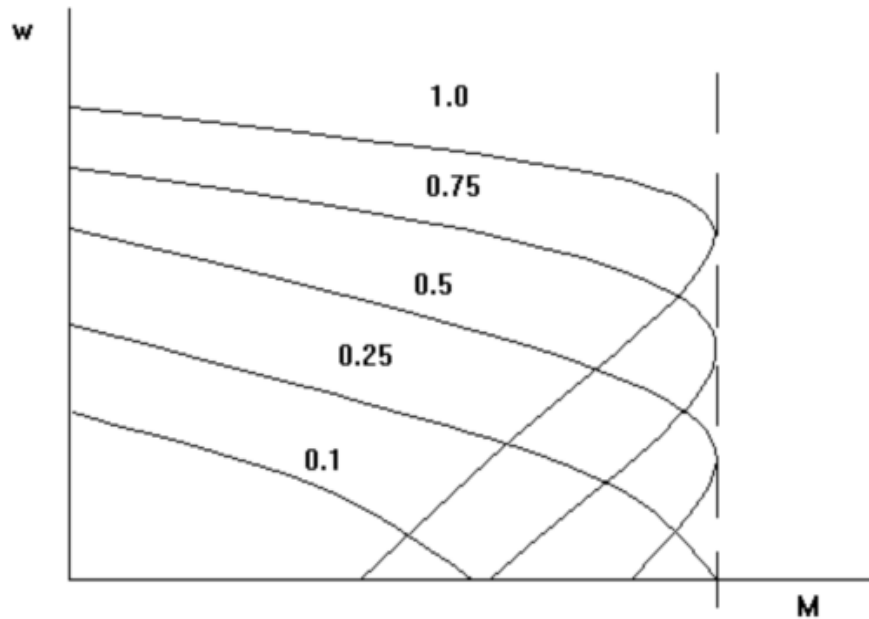


Рисунок 4.15. - Частотне керування асинхронним двигуном.

Тому що в рівнянні (4.11) регульованою величиною є швидкість вихідного вала електродвигуна, те (4.11) запишеться у вигляді:

$$T_2^2 \cdot \frac{d^2 \omega_{\text{дв}}}{dt^2} + T_1 \cdot \frac{d\omega_{\text{дв}}}{dt} + \omega_{\text{дв}} = k_3, \quad (4.12)$$

$$\text{де } T_2^2 = \frac{L_B M_{\text{пр}}}{k_M} = 0,15 \text{ с};$$

$$T_1 = \frac{L_B k_v + r_B M_{\text{пр}}}{k_M} = 0,18 \text{ с};$$

$$k_3 = \frac{U_B}{k_v} = 24 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

Виразення (4.12) є математичною моделлю електродвигуна.

Передатна функція електродвигуна має вигляд

$$W_3(P) = \frac{k_3}{T_2^2 \cdot P^2 + T_1 \cdot P + 1}, \quad (4.13)$$

Динамічна характеристика показано на рис 4.16

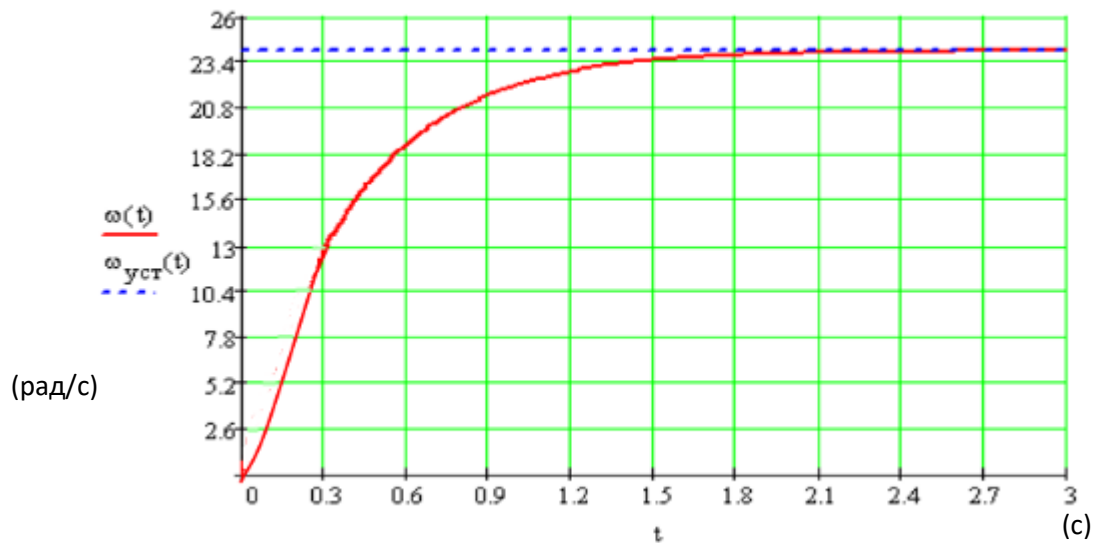


Рисунок 4.16 - Динамічна характеристика електродвигуна (частота обертання вала електродвигуна)

Механічні характеристики двигуна залежно від ковзання показано на рис 4.17

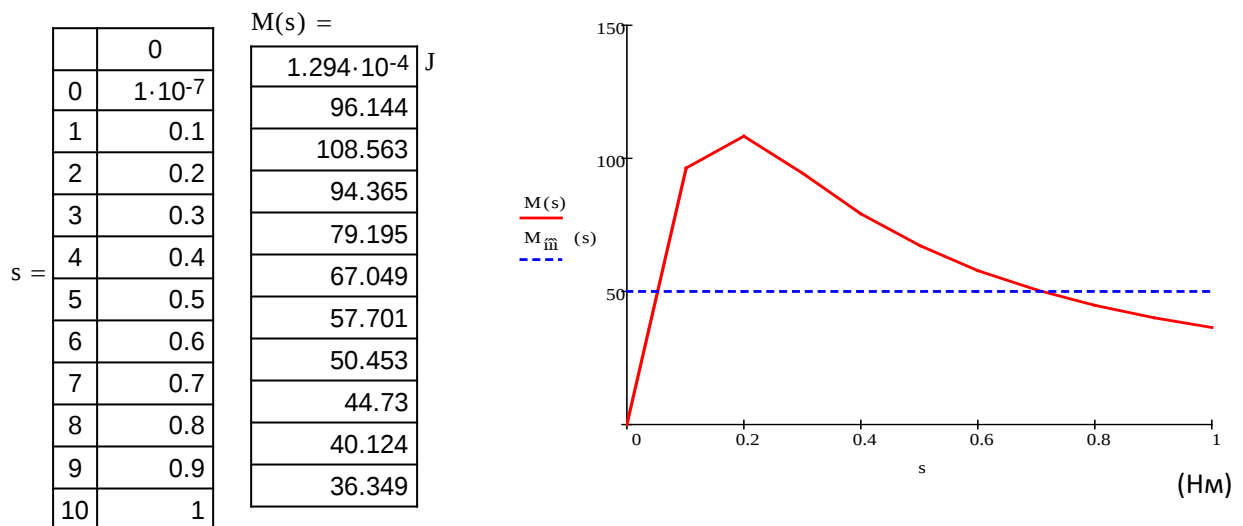


Рисунок 4.17- Механічні характеристики двигуна залежно від ковзання

Коробка швидкостей

Розглянемо коробку швидкостей як динамічну систему, завданням якої є передача крутного моменту від електродвигуна на оброблюваний вал, закріплений на шпинделі з певною кутовою швидкістю ω .

Для зручності одержання математичної моделі коробки швидкостей скористаємося залежністю:

$$N_{\text{дв}} \times \eta = N_{\text{pz}} \quad (4.13),$$

де $N_{\text{дв}}$ - потужність на валу електродвигуна, N_{pz} - потужність на оброблюваному валу, η - коефіцієнт корисної дії коробки швидкостей, який залежить від передачі включеного в цей момент, він рівний:

$$\eta = \eta_{\text{пп}}^i \eta_{\text{зп}}^j \eta_{\text{рп}}^k \quad (i, j, k = 1, 2, 3 \dots n),$$

тут $\eta_{\text{пп}}^i \eta_{\text{зп}}^j \eta_{\text{рп}}^k$ - коефіцієнти корисної дії пара підшипників, зубчастих зачеплень і ремінної передачі.

Для верстата 1 K62 при частоті обертання шпинделя 630 хв^{-1}

$$\eta = 0,76$$

тому що потужність є залежність $N = M \times \omega$, те прийме вид:

$$M_{\text{дв}} \times \omega_{\text{дв}} \times \eta = M_{\text{pz}} \times \omega,$$

або

$$\omega = \omega_{\text{дв}} \cdot K_{\text{кк}} \quad (4.14),$$

$$\text{де } K_{\text{кк}} = \frac{M_{\text{дв}}}{M_{\text{pz}}} \times \eta$$

(4.14) - математична модель коробки швидкостей.

Передатне відношення для коробки швидкостей запишеться:

$$W_{\text{кк}}(p) = \frac{\omega}{\omega_{\text{дв}}} = K_{\text{кк}} = 0,433 \quad (4.15),$$

Прийнявши зміни моментів лінійними й крім мікродеформацій у самому механізмі (вигини й скручування валів, зубчастих зачепленні, ремінної передачі), ми побудуємо залежність (4.14) на графіку [1-15].



Рисунок 4.18 - Динамічна характеристика коробки подач

4.3 З'єднання ланок

Поєднуючи все ланки в єдину систему можна одержати автоматичну систему в більш зручній формі, шляхом проведення ряду операцій над передатними функціями динамічних ланок. Отримана схема системи дозволяє розглянути процес у найпростішій формі.

Технологічний процес різання: $W_m(p) = \frac{k_m}{T_1 p + 1}$

Передатне відношення датчика: $W_d(p) = k_d$

Передатне відношення підсилювача: $W_y(p) = K_y$

Передатні функції для системи

Перетворювач частоти струму: $W_{np}(P) = k_{\Pi}$

Асинхронний трифазний електродвигун:

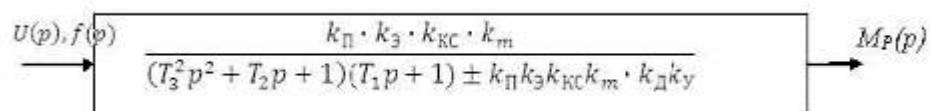
$$W_{\mathcal{E}}(P) = \frac{k_{\mathcal{E}}}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$$

Коробка швидкостей: $W_{kp}(p) = \frac{s}{\omega} = k_{kc}$

За правилами з'єднання ланок:

$$W_{\text{ЭМ}}(p) = \frac{k_{\Pi} \cdot k_{\text{Э}} \cdot k_{\text{КС}} \cdot k_m}{(T_3^2 p^2 + T_2 p + 1)(T_1 p + 1) \pm k_{\Pi} k_{\text{Э}} k_{\text{КС}} k_m \cdot k_{\text{Д}} k_{\text{У}}}$$

На схемі



5. РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

Розрахунки й аналіз економічного ефекту від впровадження автоматичних систем у проведення є найважливішим етапом виконання поставлених завдань у даній роботі, який проявляється економією витрат матеріальних і трудових ресурсів, підвищень прибутку й продуктивності праці, скороченні чисельності робочого персоналу, підвищенні якості продукції, що випускається, і продуктивності впроваджуваної техніки.

Представлений розрахунок виконаний за методикою розрахунків і оцінки економічної ефективності впровадження автоматичних систем, розробленої в УІПА на кафедрі "Машинобудування та транспорту".

Розрахунки засновано на роботі двох проектів уявних підприємств: із застосуванням автоматичних систем і без їхнього застосування, де визначається окремо для кожного підприємства величина інвестицій, собівартість спроектованого об'єкта, рівняється з фактичною вартістю одиниці роботи аналога й, установивши економію, розраховується економічний ефект.

5.1. Розрахунки величини капітальних вкладень

Інвестиції - це довгострокове вкладення капіталу з метою одержання прибутку.

У загальному виді *капітальні вкладення* включають наступні елементи:

$$K = K_{об} + K_{зд} + K_{осн} + K_{тр} + K_{сop} + K_{нз} \mp K_{выб};$$

Де $K_{об}$ - капітальні вкладення в технічне обладнання, (грн.);

$K_{зд}$ - капітальні вкладення в будинок, займане обладнанням, (грн.);

$K_{осн}$ - капітальні вкладення в технологічне оснащення, (грн.);

$K_{тр}$ - капітальні вкладення в транспортні засоби, (грн.);

$K_{сop}$ - сполучені капітальні вкладення, (грн.);

$K_{н. з}$ - одноразові витрати в незавершене проведення в грн.;

$K_{виб}$ - витрати, пов'язані з реалізацією або списанням по залишковій вартості звільнених основних фондів після впровадження нового технологічного процесу (заходу), (грн.).

$$K = 5.334 * 10^6$$

$$K = 5.356 * 10^6$$

Капітальні вкладення в технологічне обладнання визначається по формулі:

$$K_{об} = \Pi_{перв} \cdot \Pi_{пр} \cdot K_{загр};$$

де $\Pi_{перв}$ - первісна вартість одиниці обладнання, (грн.);

$$\Pi_{перв} = \Pi_{рын} \cdot K_{т.м};$$

$\Pi_{рын}$ - ринкова ціна одиниці обладнання, (грн.);

$K_{т.м}$ - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати на будівельно-монтажні роботи й транспортно заготівельні видатки, рівний від 1,05 до 1,2;

$$\Pi_{перв} = 2.82 * 10^5$$

$$\Pi_{перв} = 2.832 * 10^5$$

$$K_{об} = 4.23 * 10^6$$

$$K_{об} = 4.248 * 10^6$$

$\Pi_{пр}$ - прийнята кількість одиниць технологічного обладнання для виконання річного обсягу робіт, (шт.);

$K_{загр}$ - коефіцієнт завантаження технологічного обладнання по варіантах;

$$K_{загр} = \frac{\Pi_{расч}}{\Pi_{пр}},$$

де $\Pi_{расч}$ - розрахункова кількість обладнання:

$$\Pi_{расч} = \frac{Q_{шт} \cdot t_{шт}}{F_{\partial} \cdot K_{в.н}},$$

де $Q_{шт}$ - річна програма випуску виробу, (шт.);

$t_{шт}$ - трудомісткість виготовлення виробу, (хв);

F_{∂} - річний фонд часу обладнання (2300 - 4140 годин).

$K_{в.н}$ - коефіцієнт виконання норм виробітку (1,05 - 1,2).

$$P_{расч} = 15(шт)$$

$$P_{расч} = 13(шт)$$

$$K_{загр} = 1$$

$$K_{загр} = 0,89$$

Капітальні вкладення в будинок, займане обладнанням, розраховується по формулі:

$$K_{зд} = f \cdot P_{пр} \cdot K_{дон} \cdot Ц_{зд};$$

де f - площа, займана одиницею обладнання, (м²);

$K_{дон}$ - коефіцієнт, що враховує додаткову площу на проходи, проїзди, ухвалюється рівним від 1,5 до 5,0 м у залежності, займаної верстатом;

$Ц_{зд. буд.}$ - вартість 1м² виробничої площі ухвалюється рівний від 600 до 900 грн.

$$K_{зд} = 2.16 * 10^5$$

$$K_{зд} = 2.16 * 10^5$$

Капітальні вкладення в технологічне оснащення визначаються по формулі:

$$K_{осн} = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=p} Ц_{ij}$$

де $Ц_j$ - вартість j -го пристосування для обробки деталей, (грн.);

p - номенклатура пристосувань, необхідних для обробки деталей i -го найменування;

m - номенклатура деталей, оброблюваних на встаткуванні.

Для укрупнених розрахунків, коли в розробках відсутнє завдання по проектуванню оснащення, капітальні вкладення в оснащення становлять 5% від вартості обладнання.

$$K_{осн} = 2.16 * 10^5$$

$$K_{осн} = 1.883 * 10^5$$

Розрахунки капітальних вкладень у транспортні засоби:

За умови, що передбачається повне закріплення транспортних засобів окремими робітниками місцями (при застосуванні, наприклад, роботів і т.п.), величина капітальних вкладень у них розраховується аналогічно розрахункам капвкладень у технологічне обладнання.

Якщо транспортні засоби не закріплюються за даними робітниками місцями, то їх розмір визначається укрупнено в межах 10-18% від вартості технологічного обладнання:

$$K_{\text{тп}} = 5.624 * 10^5$$

$$K_{\text{тп}} = 5.648 * 10^5$$

Результати розрахунків зводимо в табл.5.1

Таблиця 5.1 - Результати розрахунків

Найменування капітальних вкладень	Од. ізм.	Базовий варіант	Проектний варіант
У технологічне обладнання	грн.	4230000	4248000
У будинок	" - "	216000	216000
В оснащення	" - "	216000	188300
У транспортні засоби	" - "	56240	56480
Разом	" - "	4753000	4772000

5.2 Розрахунки технологічної собівартості виготовлення виробу

При визначенні порівняльної економічної ефективності використовується не повна собівартість, а технологічна сукупність, що представляє собою елементів, що змінюються, витрат, безпосередньо викликаних впровадженням проектного варіанта обробки виробу. Такий метод значно спрощує розрахунки, не знижуючи при цьому його точності.

У загальному випадку технологічна собівартість визначається по формулі:

$$C_{\text{тех}} = C_{\text{м}} + C_{\text{зм}} + C_{\text{а}} + C_{\text{з}} + C_{\text{т.о}} + C_{\text{ри}} + C_{\text{н}} + C_{\text{пр}};$$

де $C_{\text{м}}$ - видатки на основні матеріали;

$C_{зп}$ - видатки на основну й додаткову зарплату основних і допоміжних робітників з відрахуваннями на:

соцстрах;

C_a - величина амортизаційних відрахувань;

C_E - витрати на силову електроенергію;

C_{pi} - витрати на експлуатацію різального інструменту;

C_n - витрати на експлуатацію приміщень;

C_{cp} - витрати на утримання, обслуговування й ремонт обладнання;

C_{np} - інші видатки.

Видатки на основні матеріали:

Видатки на основні матеріали визначаються у випадку зміни заготовки в проектованому варіанті щодо базового по формулі

$$C_{мi} = [B_z \cdot C - (B_z - B_d) \cdot (1 - \beta) \cdot C_1] \cdot Q_i$$

де B_z - вага заготовки;

B_d - вага деталі;

C - ціна одиниці матеріалу, ринкова ціна з урахуванням транспортно-заготівельних видатків;

C_1 - ціна одиниці відходів матеріалу;

β - відсоток безповоротних втрат;

Q_i - річний обсяг виробництва деталей i - го найменування.

$$C_{мi} = 1.639 \cdot 10^7$$

$$C_{мi} = 1.899 \cdot 10^7$$

Видатки на зарплату:

а) зарплата основних виробничих робітників:

$$C_{зп,p} = t_{шт,k} \cdot C_{ч,o} \cdot Q_i$$

де $t_{шт, до}$ - норма штучно-калькуляційного часу виготовлення однієї деталі;

$C_{ч, про}$ - годинна тарифна ставка робочого 1-го розряду;

$K_{тар}$ - тарифний коефіцієнт;

Q_i - річна програма деталей i - го найменування;

$$C_{зн.р} = 8.2 * 10^7$$

$$C_{зн.р} = 5.7 * 10^7$$

б) премії й доплати виробничим робітником:

$$C_{зн.д} = \frac{a}{100} \cdot C_{зн.р}$$

де a - прийняти 30 год 40.

$$C_{зн.д} = 2.46 * 10^7$$

$$C_{зн.д} = 1.71 * 10^7$$

в) додаткова зарплата:

$$C_{зн.дон} = \frac{\beta}{100} \cdot (C_{зн.р} + C_{зн.д})$$

$$C_{зн.дон} = 1.066 * 10^7$$

$$C_{зн.дон} = 7.41 * 10^6$$

де β - прийняти рівним 10.

г) відрахування на соціальне страхування:

$$C_{отч} = \frac{\gamma}{100} \cdot (C_{зн.р} + C_{зн.д} + C_{зн.дон})$$

$$C_{отч} = 3.166 * 10^7$$

$$C_{отч} = 2.201 * 10^7$$

де γ - рекомендується прийняти рівним 27.

Разом, зарплата основних робітників:

$$C_{зн.общ} = C_{зн.р} + C_{зн.д} + C_{зн.дон} + C_{отч}$$

$$C_{зн.общ} = 1.489 * 10^8$$

$$C_{зн.общ} = 1.035 * 10^8$$

д) зарплата допоміжних робітників, у тому числі й контролерів, визначається по формулі:

$$C_{всп} = R_{всп} \cdot T_{тар} \cdot F_3 \cdot k$$

де $R_{всп}$ - кількість допоміжних робітників, (чіл.);

$T_{тар}$ - годинна тарифна ставка відповідного розряду;

k - коефіцієнт, що враховує доплати й соцстрах - 1,4;

F_E - ефективний фонд часу річної роботи (година.), (прийняти в межах 1860 год 1905).

$$C_{\text{всн}} = 638400$$

$$C_{\text{всн}} = 478800$$

Видатки на амортизацію обладнання:

$$C_a = \frac{K_{об} \cdot H_a}{100}$$

де $K_{об}$ - капвкладення в технологічне обладнання, (грн.).

H_a - річна норма амортизаційних відрахувань по даному виду обладнання, у відсотках: (14-15%).

$$C_a = 5.249 \cdot 10^4$$

$$C_a = 5.249 \cdot 10^4$$

Витрати на силову електроенергію:

$$C_{\text{э}} = \frac{N_{\text{эл}} \cdot K_{\text{о}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot K_{\text{вз}} \cdot F_{\text{э}}}{K_{\text{кнд}}} \cdot \Pi_{\text{эл}}$$

де $N_{\text{Ел}}$ - установлена потужність електродвигунів даного обладнання, (кВт.);

K - коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів (рекомендується при одному двигуні ухвалювати 1);

$K_{\text{вз}}$ - коефіцієнт завантаження двигуна в часі від 0,6 до 0,9;

$K_{\text{зм}}$ - коефіцієнт завантаження двигуна по потужності від 0,4 до 0,6;

F_E - ефективний фонд часу роботи обладнання, година;

$\Pi_{\text{Ел}}$ - вартість 1квт/год електроенергії прийняти 1,327 грн.;

$K_{\text{кнд}}$ - коефіцієнт корисної дії двигуна (рекомендовано прийняти рівним 0,93 - 0,98.)

$$C_{\text{э}} = 113842$$

$$C_{\text{э}} = 100845$$

Витрати на експлуатацію технологічного оснащення визначається по формулі:

$$C_{\text{то}} = \frac{K_{\text{осн}}}{T_{\text{осн}}}$$

де $K_{осн}$ - капвкладення в технологічне оснащення, (грн.);

$T_{осн}$ - термін служби технологічного оснащення.

$$C_{то} = 1.875 * 10^4$$

$$C_{то} = 1.883 * 10^4$$

Інші видатки:

Ухвалюються розрахунково-прямим шляхом по елементах, не врахованих вище. Для укрупнених розрахунків прийняти 20-25%.

$$C_{...} = 2.846 * 10^4$$

$$C_{...} = 2.771 * 10^4$$

Результати розрахунків зведені в табл.5.2.

Таблиця 5.2 - Результати розрахунків

Найменування елементів	Одиниця виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
Основні матеріали	грн.	1639000	1899000
Зарплата робітників з нарахуваннями на соцстрах	" - "	1489000	1035000
Зарплата допоміжних робітників	" - "	638400	478800
Амортизаційне відрахування обладнання	" - "	52490	52490
Силова електроенергія	" - "	113842	100845
Експлуатація технологічного оснащення	" - "	18750	18830
Інші видатки	" - "	284600	277100

5.3 Методи розрахунків показників ефективності нової техніки й технології

Економічна ефективність - витрати й результати пов'язані з реалізацією проекту. Основу оцінки ефективності проектів становить визначення й співвіднесення витрат і результатів їх здійснення. Відповідальність оцінки ефективності інвестиційних проектів обумовлена тим, що від її ефективності залежить:

- строк повернення вкладених коштів;

- дохід підприємства;
- перспективи розвитку підприємства.

У розрахунках економічної ефективності рекомендується керуватися наступними основними положеннями.

1. У тих випадках, коли нові капітальні витрати повністю додаються до вартості діючих фондів, величина річної економії визначається по одній з наступних формул:

$$E = [(S_1 - S_2) - E_n \cdot K_\delta] \cdot N_2$$

Де K_δ - нові (додаткові) капітальні витрати, віднесені до одиниці річного випуску продукції після впровадження вдосконалення;

$$E = 477200$$

2. Величина умовно річної економії E_y й економії до кінця року E_k визначається по формулах:

$$E_y = (S_1 - S_2) N;$$

Де N - річний випуск продукції в натуральних одиницях;

$$E_y = 3113000 \text{ (грн.)}$$

3. Розрахунковий строк окупності капітальних витрат може бути визначений по одній з наступних формул (у літах):

$$T_{ок} = \frac{K_\delta}{(S_1 - S_2)}$$

$$T_{ок} = 2,2 \text{ рока}$$

4. Розрахунковий коефіцієнт ефективності капітальних витрат визначається, як величина зворотна $T_{ок}$:

$$E = \frac{1}{T_{ок}} = 0,46$$

4. Впровадження заходу економічно доцільно, якщо витримані наступні співвідношення:

$$T_{ок} \leq T_{ок н} \text{ або } E \geq E_n,$$

де $T_{ок н}$ - нормативний строк окупності.

6. *Строк окупності інвестиції*, заснований на розрахунках тієї кількості років, яка необхідно для повного відшкодування інвестицій (первісних виплат) при порівнянні величини щорічних вступів коштів.

Строк окупності:

$$T_{ок} = \frac{I}{E_e} = 3 \text{ рока}$$

Де $T_{ок}$ - строк окупності інвестицій, (рік);

I - вихідні інвестиції в проект (капіталовкладення), (грн.);

E_e - річна економія.

Зведені техніко-економічні показники проекту представлено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Зведені техніко-економічні показники проекту

Найменування елементів	Одиниця виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
Річний випуск продукції	шт.	3300	4000
Трудомісткість виготовлення одного виробу	хв	20	15
Площа, займана обладнанням	м ²	90	78
Середньомісячна зарплата основних робітників	грн.	7428	6850
Тривалість зміни	година	8	8
Продуктивність праці одного робітника	шт. /день	12	15
Інвестиції	грн.	47530000	47720000
Питомі капітальні вкладення	" - "		19000
Річні поточні витрати	" - "	16550000	12270000
Собівартість одиниці продукції	" - "	14400	11930
Строк окупності	рік	6	3
Стійкість інструмента	година	4	6
Точність виготовлення	(мкм)	+35 0	+15 0

На рис.5.14 представлені порівняльні діаграми основних результатів розрахунків двох проектів.

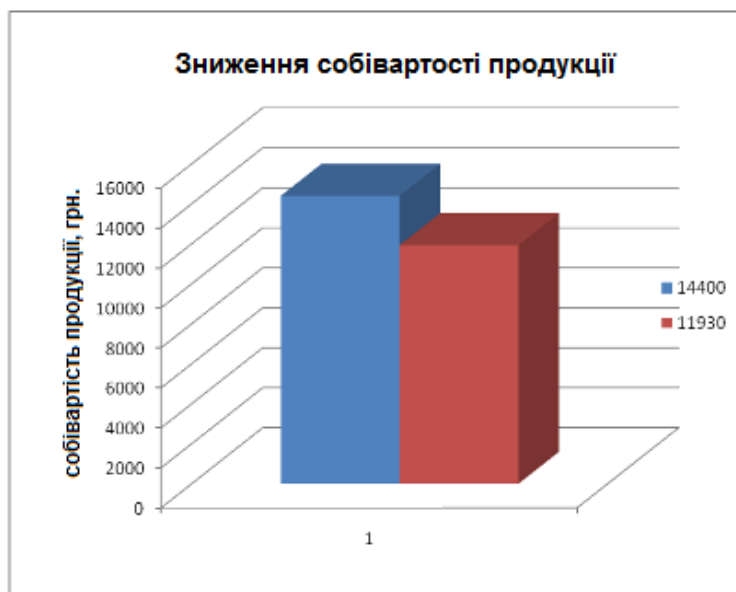
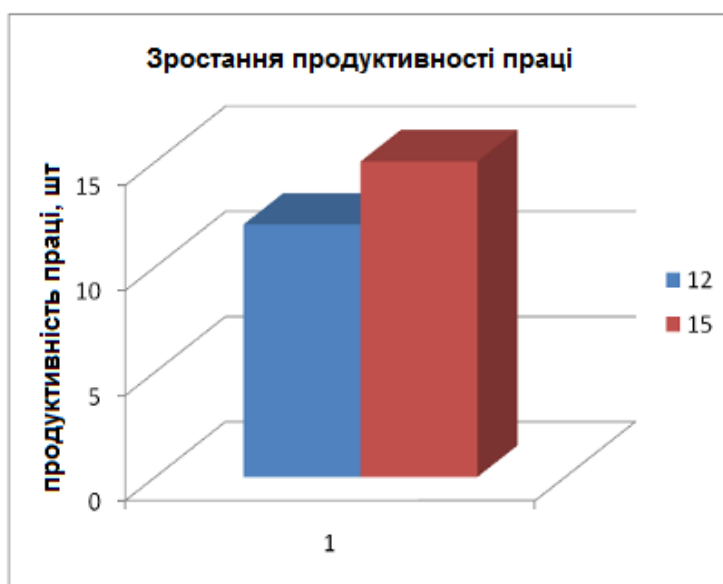
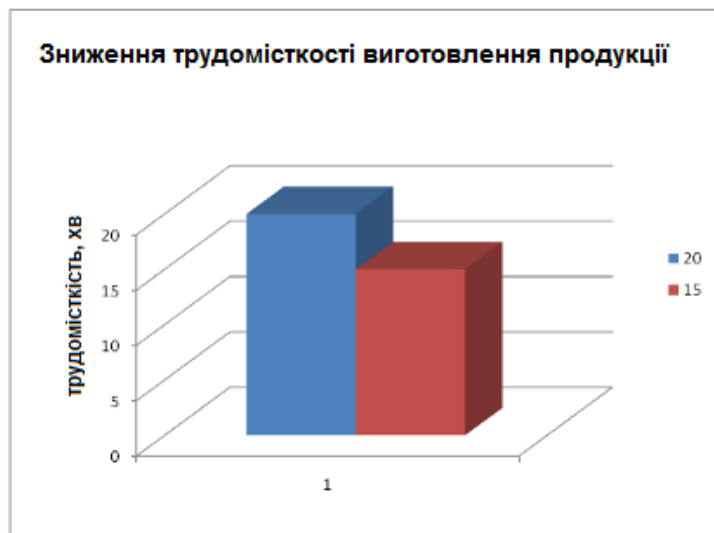


Рисунок 5.14 - Порівняльні діаграми проектів

-  базовий варіант;  проектний варіант

6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ СЕМІНАРУ НА ТЕМУ
«ОСОБЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРЕГАТНОГО
ВЕРСТАТА ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЗУСИЛЛЯМИ
РІЗАННЯ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА.
МАШИНОБУДУВАННЯ».

Автоматизація виробничих процесів – це комплекс заходів з розроблення нових, прогресивних технологічних процесів і створення на їх основі нових високопродуктивних машин і систем машин. Головний напрямок автоматизації – створення високопродуктивних технологічних процесів. На сьогодні можна з упевненістю стверджувати, що напрямок переобладнання виробництва на основі гнучких автоматизацій усіх його процесів набув визнання в машинобудуванні. Комплексно автоматизоване машинобудівне виробництво створює умови для одночасного досягнення високої продуктивності й технологічної гнучкості, яка раніше забезпечувалась лише безпосередньою участю людини у виробничому процесі. Актуальною є проблема зі створення інтегрованих виробничих систем. Для цього необхідне вирішення ряду важливих наукових та інженерних завдань створення технічних і програмних засобів управління, вимірювання, контролю за ходом виробництва, діагностики, маніпулювання оброблюваними деталями, конструювання інструменту, вибір технологічної стратегії.

Для якісного виконання цих завдань потрібні кваліфіковані фахівці. Саме таких готує Українська інженерно-педагогічна академія за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування».

Стратегічні цілі підготовки фахівців даного напрямку: одержати знання, уміння та навички для того щоб надалі бути затребуваним на ринку труда та праці.

Дисципліна, з якої буде розроблятися семінар: «Системи автоматизованого проектування в машинобудуванні», тема: «Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного

керування зусиллями різання». Мета вивчення дисципліни: передбачає формування знань у студентів з основних принципових методів обробки матеріалів механічним способом, зокрема різанням, вивчення структури технологічного процесу механічної обробки, методики різання, режимів різання на металорізальному верстаті інструментів та пристосувань.

6.1. Постановка оперативних цілей семінару

Одним з визначальних компонентів процесу навчання є його ціль. Ціль навчання — це ідеальне мисленнєве передбачення кінцевого результату процесу навчання, це те, до чого прагнуть педагог і студенти.

Організація процесу навчання найперше пов'язана з чітким визначенням його цілей, а також усвідомленням і прийняттям їх студентами. Цільові установки навчання спричиняють розуміння суті і способів організації навчально-пізнавальної діяльності, суттєво впливаючи на її активізацію.

В процесі підготовки студентів за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування», студенти проходили багато різних дисциплін за різними напрямками, одна з яких «Системи автоматизованого проектування в машинобудуванні», з якої і буде розроблятися семінар.

Цілі семінару зазначені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Цілі семінару

Дидактична мета семінару	Рівень цілі	Умови досягнення цілі	Результат у вигляді дій, які студенти повинні продемонструвати в результаті виконання семінару, та їх характеристика	Розвиваюча мета проведення семінару.
1	2	3	4	5
Сформувати уміня студентів визначати,	у IV рівень	Сформовані знання про агрегатні верстати, автоматичне керування агрегатним верстатом,	Сформоване уміня студентів визначати, характеризувати, аналізувати	Розвивати інтелект, уміня аналізувати, класифікувати,

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
характеризувати, аналізувати особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання		технологію різання	особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання	порівнювати, робити висновки, уміння самостійно конструювати нові алгоритми на основі аналізу й узагальнення послідовності виконуваних операцій і дій, що ведуть до результату. Розвивати логічне мислення, просторову уяву, увагу, пам'ять, розумову активність, інтуїцію, пізнавальну самостійність, пізнавальний інтерес, потребу в самоосвіті, ініціативу, творчість, обґрунтованість суджень.

6.2. Вибір типу семінару і форми його проведення

Семінар — вид навчальних занять практичного характеру, спрямованих на поглиблене опрацювання теоретичного матеріалу. Семінарські заняття сприяють активізації пізнавальної діяльності студентів, формуванню самостійності суджень, умінню обстоювати власні думки, аргументувати їх на основі наукових фактів. Вони сприяють оволодінню фундаментальними знаннями, допомагають розвивати логічне мислення, формувати переконання,

оволодівати культурою толерантності, активно впливати на соціальне становлення особистості.

Враховуючи дидактичну мету, та розвиваючу ціль, було обрано семінар обговорення (реферативний семінар).

Таблиця 6.2 - Вибір типу семінару та форми його проведення

Тема семінару	Дисципліна, з якої проводиться семінар	Тип семінару та обґрунтування його обрання	Форма проведення семінару та обґрунтування її обрання
1	2	3	4
«Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання»	«Системи автоматизованого проектування в машинобудуванні»	Тип: Реферативний семінар. Такі семінари проводяться для поширення і систематизації уявлень студентів по окремим питанням навчального курсу, поповнення словарного запасу науковими термінами і закріплення їх, також розвиток комунікативних здібностей студентів.	Форма проведення: Групова. Група розподіляється на підгрупи в довільному порядку або за бажаннями студентів. Кожній підгрупі видається завдання підготувати доповідь з окремих питань і захистити її, використовуючи сучасні засоби навчання. Решта студентів повинна уважно слухати доповіді та доповнювати їх.

6.3. Визначення переліку питань для обговорення та джерел інформації при підготовці до семінару

Перелік питань, які необхідно розглянути на семінарі наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 - Питання для обговорення

Питання для обговорення	Джерела інформації
1	2
В чому полягає особливість структури автоматизованого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів?	1. Соснін О.М. Основи автоматизації технологічних процесів та виробництв [Текст] / Соснін О. М. - М.: Видавничий центр Академія, 2007. - 240с. 2. Медведєв А. Є. Автоматизація виробничих процесів [Текст] / А. Є. Медведєв, А. В. Чу-пін. Навч. Посібник. Кузбас. держ. техн. ун-т. - Камерово, 2009. - 325с. 3. Капустін Н. М. Комплексна автоматизація в машинобудуванні [Текст] / Н. М. Капустін - М.: Видавничий центр Академія, 2005. - 368 с.
Яка послідовність автоматизації виробничого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів?	1. Капустін Н. М. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні Навч. для вузів. [Текст] / За ред. н. М. Капустина. - М.: Вища школа, 2005. - 415с 2. Втюрін В. А. Автоматизовані системи управління технологічними процесами [Текст]/В. А. Втюрін. Основи АСУТП: Навчальний посібник - Санкт-Петербург, 2006. - 152с. 3. Волчкевич Л. І. Автоматизація виробничих процесів [Текст]/Л. І. Волчкевич Навчальний посібник. - 2-ге вид., Стер. - М.: Машинобудування, 2007. - 380с.
Які існують шляхи та засоби розвитку автоматизації керування зусиллям різання на агрегатному верстатів?	1. Вальков В. М. Автоматизовані системи управління технологічними процесами [Текст]/В. М. Вальков, В. Є. Вершин. - Л.: Політехніка, 1991. - 269с. 2. Бородін І. Ф. Автоматизація технологічних процесів [Текст] / І. Ф. Бородін, Ю. А. Судник. - М.: Колос, 2004, - 344с. 3. Білоусов О. П. Основи автоматизації виробництва у машинобудуванні [Текст] / О. П. Білоусов, О. І. Дашенко – М.: Вища школа, 1982.
Які недоліки і проблеми можуть виникнути під час впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті?	1. Костюк В. І. Промислові роботи [Текст]/В. І. Костюк, А. П. Гавриш, Л. С. Ямпільський. - К.: Вища школа, Головне вид-во, 1985. - 360 с. 2. Воєводін В. М. Гнучкі Автоматичні лінії: Класифікація. Принципи побудови [Текст]/А. П. Гавриш. Б.М. Воронець// Верстати та інструмент. -

	1985. - № 10. - С.2-15 3. Васильєв В. Н. Організація, управління та економіка гнучкого інтегрованого виробництва в машинобудуванні [Текст] / В. Н. Васильєв - М.: Машинобудування, 1986. - 312 с. Автоматизація виробничих процесів [Текст]/під ред. Г. А. Шаумяна. - М.: Вища школа, 1978. - 431 с.
В чому полягає перевага та позитивні результати впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті?	1. Волчкевич Л. І. Комплексна автоматизація виробництва [Текст]/Л. І. Волчкевич, М. П. Ковальов, М. М.Кузнєцов. - М.: Машинобудування, 1983. - 262 с. 2. Волчкевич Л. І. Надійність автоматичних ліній [Текст]/Л. І. Волчкевич - М.: Машино-будівля, 1969. - 309 с 3. Автоматизовані системи управління підприємствами та об'єднаннями [Текст]/за ред. М. А. Соломіна. - М.: Економіка, 1985. - 248 с.
Яка роль автоматизації керування зусиллям різання як одного зі шляхів підвищення ефективності роботи агрегатного верстата та в чому перспективи розвитку цього напрямку технологічного прогресу?	1. Спин Г. А. Промислові роботи конструювання та застосування [Текст] / Г. А Спин - К.: Вища школа, 1991. - 331с. 2. Соснін О.М. Основи автоматизації технологічних процесів та виробництв [Текст] / Сос-нин О. М. - М.: Видавничий центр Академія, 2007. - 240с. 3. Медведєв А. Є. Автоматизація виробничих процесів [Текст] / А. Є. Медведєв, А. В. Чу-пін. Навч. Посібник. Кузбас. держ. техн. ун-т. - Камерове, 2009. - 325с.

6.4 Проєктування мотиваційних технологій навчання студентів на семінарі.

Мотивація до навчання – одна із головних умов реалізації навчально – виховного процесу. Вона не тільки сприяє розвитку інтелекту, але і є рушійною силою удосконалення особистості в цілому

Мотивація - система спонукань які зумовлюють активність організму і визначають її спрямованість. Навчальна мотивація ґрунтується на потребі, яка стимулює пізнавальну активність студентів, їх готовність до засвоєння знань. Потреба не визначає характеру діяльності, її предмет окреслюється тоді, коли людина починає діяти.

Для проведення даного семінару визначаємо тип,вид та методи мотивації. Враховуючи те, що дидактична мета в нас 4 рівня, то тип мотивації

обираємо – внутрішню на вступному етапі, яка допоможе нам досягти нашої поставленої мети, тому, що направить студентів на вивчення теми більш детально та творчо та зовнішню, які підтримуючу увагу та зосередженість студентів. Текст мотивації представимо в таблиці 6.5.

Таблиця 6.4 - Обрання методів мотивації навчальної діяльності

Вид і методи і текст мотивації	
Вступна внутрішня мотивація Прийом: віднесення до ситуації	Підтримуюча зовнішня мотивація Прийом: віднесення до особистості
1	2
Комплексна автоматизація верстаного обладнання стала на сьогоднішній день для багатьох металообробних підприємств України нагальною потребою, оскільки ринок розвивається досить динамічно і для того, щоб перемогти в конкурентній боротьбі підприємству також потрібно бути максимально гнучким. Саме досягти необхідної гнучкості, динамізму, керованості та необхідного рівня планування й прогнозування своєї діяльності і дозволяє правильно вибрана модель комплексної механізації та автоматизації виробництва. Так, автоматизація на базі гнучких виробничих систем, значно підвищуючи ефективність виробництва, полегшує працю працівників і сприяє збільшенню випуску продукції, поліпшенню її споживчих властивостей. Дозволяючи забезпечувати випуск широкої номенклатури продукції, однорідної по основних конструктивних і технологічних параметрах, гнучка автоматизація є ефективним засобом інтенсифікації. Автоматизація докорінно змінює характер організації виробничого процесу та праці. Порівняно з поточним методом виробництва, де робітник виконує протягом тривалого часу невелику за обсягом операцію диференційованого виробничого процесу, в автоматизованому виробництві тільки висококваліфіковані оператори і налагоджувальники контролюють роботу машин і регулюють їх дії. Одним зі шляхів автоматизації агрегатного верстата є впровадження автоматичного керування зусиллям різання. Саме це питання на сьогоднішньому занятті ми за Вами розглянемо. Тож розпочнімо!	Ми з вами заслухали декілька доповідей з теми семінару «Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання». Тепер нам треба визначити, які ж з них найважливіші. Отже, продовжуємо працювати та заслухаємо ще кілька доповідей. Не забувайте, що сьогодні за роботу на семінарі всі отримають бали, але їх кількість буде залежати від того, як Ви працюєте. Тож не відволікайтесь і продовжуємо!

6.5. Аналіз базових умов навчання

Базовий матеріал – це всі ті відомості, що за змістом зв'язані з даною темою і знання яких учнем робить для нього новий матеріал доступним. Базові знання – це початкова умова, яка необхідна для вивчення нового матеріалу. Вони відображують ті мінімальні вміння та здатності, якими повинні володіти ті що навчаються до того як вони почали програмне навчання.

В таблиці 6.5 наведемо аналіз базових умов навчання з теми семінару.

Таблиця 6.5 - Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дій	Назва дисциплін і тем, в яких формуються опорні знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
– Обробка деталей – Види обробки деталей – Різання – Ріжучі інструменти – Металообробні верстати – Агрегатний верстат	«Системи автоматизованого проектування в машинобудуванні»	Усне фронтальне опитування, за допомогою питань: 1. Що входить в поняття обробка деталей? 2. Які види обробки деталей існують? 3. Що таке різання? 6. Які існують металообробні верстати? 5. Які особливості у агрегатного верстата?	Стисле нагадування основних положень базового матеріалу

6.6. Проектування основної частини реферативного семінару.

При розробці дидактичного проекту семінару слід далі навести перелік тем доповідей, а також визначити мету та тривалість кожної доповіді (таблиця 6.6).

Таблиця 6.6 - Характеристика доповідей на семінарі

№ доповіді	Тема доповіді	Мета доповіді	Тривалість доповіді	Тривалість обговорення доповіді
1	2	3	4	5
1	Структура автоматизованого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	Охарактеризувати структура автоматизованого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	3-5 хв.	до 5 хв.
2	Послідовність автоматизації виробничого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	Визначити та описати послідовність автоматизації виробничого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	3-5 хв.	до 5 хв.
3	Шляхи та засоби розвитку автоматизації керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	Ознайомити слухачів зі шляхами та засобами розвитку автоматизації керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	3-5 хв.	до 5 хв.
4	Можливі недоліки і проблеми під час впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	Визначити, описати та проаналізувати можливі недоліки і проблеми під час впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	3-5 хв.	до 5 хв.
5	Переваги та позитивні результати впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	Визначити, охарактеризувати та проаналізувати переваги та позитивні результати впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	3-5 хв.	до 5 хв.
6	Роль автоматизації керування зусиллям різання як одного зі шляхів підвищення ефективності роботи агрегатного верстата та перспективи розвитку цього напрямку технологічного прогресу	Визначити та проаналізувати роль автоматизації керування зусиллям різання як одного зі шляхів підвищення ефективності роботи агрегатного верстата та перспективи розвитку цього напрямку технологічного прогресу	3-5 хв.	до 5 хв.

Необхідно зазначити перелік джерел інформації для доповідей, який знаходиться в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 - Джерела інформації для підготовки доповідей

Теми доповідей 1	Джерела інформації 2
Структура автоматизованого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	1. Соснін О.М. Основи автоматизації технологічних процесів та виробництв [Текст] / Сос-нин О. М. - М.: Видавничий центр Академія, 2007. - 240с. 2. Медведєв А. Є. Автоматизація виробничих процесів [Текст] / А. Є. Медведєв, А. В. Чу-пін. Навч. Посібник. Кузбас. держ. техн. ун-т. - Камерово, 2009. - 325с. 3. Капустін Н. М. Комплексна автоматизація в машинобудуванні [Текст] / Н. М. Капустін - М.: Видавничий центр Академія, 2005. - 368 с
Послідовність автоматизації виробничого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	1. Капустін Н. М. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні Навч. для вузів. [Текст] / За ред. н. М. Капустина. - М.: Вища школа, 2005. - 415с 2. Втюрін В. А. Автоматизовані системи управління технологічними процесами [Текст]/В. А. Втюрін. Основи АСУТП: Навчальний посібник - Санкт-Петербург, 2006. - 152с. 3. Волчкович Л. І. Автоматизація виробничих процесів [Текст]/Л. І. Волчкович Навчальний посібник. - 2-ге вид., Стер. - М.: Машинобудування, 2007. - 380с.
Шляхи та засоби розвитку автоматизації керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	1. Вальков В. М. Автоматизовані системи управління технологічними процесами [Текст]/В. М. Вальков, В. Є. Вершин. - Л.: По-літехніка, 1991. - 269с. 2. Бородин І. Ф. Автоматизація технологічних процесів [Текст] / І. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. - М.: Колос, 2004, - 344с. 3. Білоусов О. П. Основи автоматизації вироб-ництва у машинобудуванні [Текст] / О. П. Білоусов, О. І. Дашенко – М.: Вища школа, 1982.
Можливі недоліки і проблеми під час впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	1. Костюк В. І. Промислові роботи [Текст]/В. І. Костюк, А. П. Гавриш, Л. С. Ямпільський. - К.: Вища школа, Головне вид-во, 1985. - 360 с. 2. Воеводін В. М. Гнучкі Автоматичні лінії: Класифікація. Принципи побудови [Текст]/А. П. Гавриш. Б.М. Воронець// Верстати та інструмент. - 1985. - № 10. - С.2-15 3. Васильєв В. Н. Організація, управління та економіка гнучкого інтегрованого виробництва в машинобудуванні [Текст] / В. Н. Васильєв - М.: Машинобудування, 1986. - 312 с. Автоматизація виробничих процесів [Текст]/під. ред. Г. А. Шаумяна. - М.: Вища школа, 1978. - 431 с.
Переваги та позитивні результати впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	1. Волчкович Л. І. Комплексна автоматизація виробництва [Текст]/Л. І. Волчкович, М. П. Ковальов, М. М.Кузнєцов. - М.: Машинобудування, 1983. - 262 с. 2. Волчкович Л. І. Надійність автоматичних ліній [Текст]/Л. І. Волчкович - М.: Машино-будівля, 1969. - 309 с 3. Автоматизовані системи управління підприємствами та об'єднаннями [Текст]/за ред. М. А. Соломіна. - М.: Економіка, 1985. - 248 с.
Роль автоматизації керування зусиллям різання як одного зі шляхів підвищення ефективності роботи агрегатного верстата та перспективи розвитку цього напрямку технологічного прогресу	1. Спин Г. А. Промислові роботи конструювання та застосування [Текст] / Г. А Спин - К.: Вища школа, 1991. - 331с. 2. Соснін О.М. Основи автоматизації технологічних процесів та виробництв [Текст] / Сос-нин О. М. - М.: Видавничий центр Академія, 2007. - 240с. 3. Медведєв А. Є. Автоматизація виробничих процесів [Текст] / А. Є. Медведєв, А. В. Чу-пін. Навч. Посібник. Кузбас. держ. техн. ун-т. - Камерово, 2009. - 325с.

Необхідно розробити змістовну характеристику кожної доповіді і методику її проведення, яка знаходиться в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 - Змістовна характеристика доповідей

Тема доповіді	Частини доповіді	Основні питання доповіді	Метод викладу змісту	Методика забезпечення наочності	Прийоми активізації слухачів
1	2	3	4	5	6
Доповідь №1.Тема: «Структура автоматизованого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів»	Вступна частина	Характеристика структури автоматизованого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	Монологічний метод	Демонстрація презентаційних слайдів	Розповідь
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			
Доповідь №2.Тема: «Послідовність автоматизації виробничого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів»	Вступна частина	Опис та аналіз послідовності автоматизації виробничого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	Монологічний метод	Демонстрація презентаційних слайдів	Виступ з проблемою
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки щодо проведеного аналізу			
Доповідь №3.Тема: «Шляхи та засоби розвитку автоматизації керування зусиллям різання на агрегатному верстатів»	Вступна частина	Визначення, опис та аналіз шляхів та засобів розвитку автоматизації керування зусиллям різання на агрегатному верстатів	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій Демонстрація презентаційних слайдів	Паузи на важливих моментах, тезисні висновки
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			
Доповідь №5.Тема: «Можливі недоліки і проблеми під час впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті»	Вступна частина	Опис та аналіз недоліків і проблем, що можуть виникнути під час впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Тезисні висновки
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			

Продовження табл. 6.8.

1	2	3	4	5	6
Доповідь №5. Тема: «Переваги та позитивні результати впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті»	Вступна частина	Визначення, характеристика та аналіз переваг та позитивних результатів впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Тезисні висновки
	Основна частина				
	Основна частина	Основна частина			
Доповідь №6. Тема: «Роль автоматизації керування зусиллям різання як одного зі шляхів підвищення ефективності роботи агрегатного верстата та перспективи розвитку цього напрямку технологічного прогресу»	Вступна частина	Визначення ролі автоматизації керування зусиллям різання як одного зі шляхів підвищення ефективності роботи агрегатного верстата та перспективи розвитку цього напрямку технологічного прогресу	Монологічний виклад інформації	Демонстрація презентаційних слайдів	Паузи на важливих моментах
	Основна частина				
	Заключна частина	Висновки			

Критерії оцінювання студентів наведені в таблиці 6.9.

Максимум і мінімум оцінки надається за рахунок участі та вкладу кожного студента в підготовку та представленні доповіді.

Загальна кількість балів перераховується за коефіцієнтом з розрахунку кількості занять та максимум за вивчення дисципліни – 100 балів.

Таблиця 6.9 - Оцінка участі студентів в семінарі та доповідей

Критерії оцінки участі в семінарі	Кількість балів	Критерії оцінки доповіді	Кількість балів
Виступ з докладом	Мах 5	Повнота висвітлення теми доповіді	Мах 6
Опанування	Мах 5	Логічність викладу	Мах 5
Виступ в обговоренні доповіді	Мах 5	Наочність викладу	Мах 5
Культура мови	Мах 4	Володіння аудиторією	Мах 4

Сценарій проведення реферативного семінару на тему: «Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання» наведено в таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 - Сценарій проведення реферативного семінару

Етап проведення семінару	Дії викладача	Дії студентів
1	2	3
Організація початку заняття	Доброго дня, передайте мені будь-ласка журнал, та розпочнемо заняття.	Студенти готуються до заняття, слухають уважно викладача
Повідомлення теми, цілі, увідна мотивація навчальної діяльності	Тема нашого сьогоднішнього заняття: «Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання», мета заняття: сформулювати уміння у студентів визначати, характеризувати, аналізувати особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання. Пояснює важливість вивчення теми.	Студенти записують тему заняття, сприймають мету заняття, усвідомлюють важливість і актуальність теми
Аналіз сформованості та актуалізація опорних знань	Проведення усного фронтального опитування, за допомогою питань: 1. Що входить в поняття обробка деталей? 2. Які види обробки деталей існують? 3. Що таке різання? 4. Які існують металообробні верстати? 5. Які особливості у агрегатного верстата? Слухає відповіді студентів, корегує при необхідності, нагадує та пояснює незрозумілі моменти.	Студенти слухають викладача, відповідають на питання. Слухають стисле нагадування
Повідомлення про тематику докладів і організацію опанування та обговорення.	На сьогоднішньому занятті, ми з вами заслухаємо 6 доповідей: 1. Структура автоматизованого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстаті 2. Послідовність автоматизації виробничого процесу керування зусиллям різання на агрегатному верстаті 3. Шляхи та засоби розвитку автоматизації керування зусиллям різання на агрегатному верстаті 4. Можливі недоліки і проблеми під час впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті 5. Переваги та позитивні результати впровадження автоматичного керування зусиллям різання на агрегатному верстаті 6. Роль автоматизації керування зусиллям різання як одного зі шляхів підвищення ефективності роботи агрегатного верстата та перспективи розвитку цього напрямку технологічного прогресу Після кожного виступу буде можливість обговорити основні положення доповіді та прийти до певних висновків.	Студенти слухають викладача. Студенти з доповідями готуються до виступу.

Продовження табл. 6.10

1	2	3
	Ті, хто будуть активно приймати участь в обговоренні доповідей, отримають додаткові бали на занятті, та певний досвід в рамках даної теми. Також під час виступу, всі інші повинні конспектувати основні положення.	
Заслуховування та обговорення доповідей.	Заслуховування доповідей студентів на обрані теми. Після кожної доповіді у студентів є час для того, щоб обговорити виступ, задати питання, які виникали під час доповіді. Обговорення.	Слухають уважно доповідачів, конспектують основні положення. Обговорюють доповідь та задають питання. Висловлюють свої думки
Оцінка доповідей та участі студентів в їх обговоренні.	Ми прослухали всі доповіді, які були на сьогодні підготовлені. Всі дуже гарно підготувалися та виступили, та отримають добрі оцінки, студенти які приймали участь в обговоренні також отримають додаткові бали.	Слухають уважно викладача
Підведення підсумків семінару.	На сьогоднішньому занятті ми з вами добре попрацювали, дізнались про Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання, що стане Вам у нагоді у подальшому навчанні Вашій професії та у майбутній професійній діяльності.	Слухають викладача

6.7 Висновки до 6 розділу

У методичній частині магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання» з дисципліни: «Системи автоматизованого проектування в машинобудуванні» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», були сформульовані оперативні цілі семінару, обраний тип та форма проведення семінару, визначений перелік питань для обговорення, сформульована мотивація для зацікавленості студентів у вивченні теми, проаналізовані базові умови навчання з теми, обрані та проаналізовані джерела інформації для підготовки до семінару, описані критерії оцінювання доповідей студентів на семінарі та розроблений сценарій проведення семінарського заняття з теми.

ВИСНОВКИ:

Дана робота була спрямована на зменшення та усунення похибок технологічних режимів робіт (стабілізація швидкості різання), запобігання заклинювання різального інструменту, а також створення нового агрегатного верстата з адаптивною системою управління. Система, розроблена тут, має конструктивно нові рішення (створена автоматична система керування при безперервній обробці) забезпечує сталість швидкості подачі інструменту, яка стає актуальною при обробці деталей. Спроековано пристосування з безперервного нарізування гайок. Система автоматичного регулювання, розроблена в даній роботі здатна відповісти вимогам заданої точності, що пред'являються до оброблених деталей.

1. Розроблені принципи, функціональні й структурні схеми САК зусиллям різання агрегатних верстатів;
2. Розроблені математичні моделі, як окремих елементів, так і в цілому систем автоматичного керування режимами робіт агрегатного верстата.
3. Математичні моделі й алгоритм розрахунків САК дозволяє зробити повний розрахунок їх параметрів, що дає можливість проектувати їх до подібних верстатів, призначених для обробки отворів.

У шостому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання» з дисципліни: «Системи автоматизованого проектування в машинобудуванні» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», були сформульовані оперативні цілі семінару, обраний тип та форма проведення семінару, визначений перелік питань для обговорення, сформульована мотивація для зацікавленості студентів у вивченні теми, проаналізовані базові умови навчання з теми, обрані та проаналізовані джерела інформації для підготовки до семінару, описані критерії оцінювання доповідей студентів на семінарі та розроблений сценарій проведення семінарського заняття з теми.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Автоматизация механической обработки и управления / Под. ред. А.В. Федотова. - М.: Машиностроение, 1982.
2. Андрианов А.И. Прогрессивные методы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1975. - 273 с.
3. Ачеркан Н.С., Гаврюшин А.А., Ермаков В.В. и др. Металлорежущие станки. Том 1 - М.: Машиностроение, 1965. - 764 с.
4. Ачеркан Н.С., Гаврюшин А.А., Ермаков В.В. и др. Металлорежущие станки. Том 2 - М.: Машиностроение, 1965. - 628 с.
5. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения - М.: Машиностроение, 1969. - 559 с.
6. Балакшин Б.С. Адаптивное управление станками - М.: Машиностроение, 1976. - 680 с.
7. Балакшин Б.С. Самоподнастраивающиеся станки - М.: Машиностроение, 1970. - 407 с.
8. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. 3-е изд. испр. М.: Издательский центр "Академия" 2007. - 576 с.
9. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1996. - 992 с.
10. Горбань Р.Н., Янукович А.Т. - под редакцией Гаврилова А.В. Совершенный частотно-регулируемый электропривод - С. - Петербург, СПЭЖ 2001. - 315 с.
11. Каминская В.В. Направление развития адаптивных систем управления для станков с ЧПУ. Станки и инструмент, 1973, № 3, с.2-4.
12. Кантор В.И. Оптимальное управление точностью обработки деталей в условиях АСУ / М.: Машиностроение, 1981. - 253 с.
13. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1985.
14. Теория автоматического управления / под ред. акад. А.А. Воронова. - М.: Высшая школа, 1986. - Ч. 1, - Ч. 2.

15. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование // Теория и элементы систем. – М.: Машиностроение, 1978.
16. Пантелеев А.В. Теория управления в примерах и задачах: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2003.
17. Глухов В.В. Теория автоматического управления. – М.: МГТУ ГА, 2006. – Ч. 1
18. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс]: підруч. / В. П. Головенкін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf
19. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
20. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.
21. Лебедик Л.В., Стрельников В.Ю., Стрельников М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельников, М. В. Стрельников. – Полтава: АСМІ, 2020. – 303 с.
22. Ачеркан Н.С., Гаврюшин А.А., Ермаков В.В., Игнатьев Н.В., Какойло А.А., Кудинов В.А., Кудряшов А.А., Лисицын Н.М., Михеев Ю.Е, Пуш В.Э., Трифонов О.Н., Федотёнок А.А., Хомяков В.С. Металлорежущие станки. Том 1. Изд. 2-е, переработанное. М., «Машиностроение», 1965. 764 с.
23. Методика професійної освіти: навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компрінт, 2026. – 224 с.
24. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти

денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2026. – 82 с.

25. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

26. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

27. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт.: О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

28. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

29. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

30. Виробництво і технології [Електронний ресурс]: <http://4ua.co.ua/manufacture/index.html>

31. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

32. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

33. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

34. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

35. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. 2. Ч. 1. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А. С. Проников, Е. И. Борисов, В. В. Бушуев и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 371 с.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська
інженерно-педагогічна академія»

(назва факультету/інституту)

Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

(назва кафедри)

кваліфікаційна робота рівня вищої освіти "магістр"

**Професійна підготовка фахівця машинобудівних
підприємств з підвищення ефективності агрегатного
верстата за рахунок автоматичного керування зусиллям
різання**

Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)

Виконав студент групи ДІТ-ПОМ23мг

Михайло СІТЧЕНКО

Керівник д.т.н., проф.

Олександр ПЕРМЯКОВ.

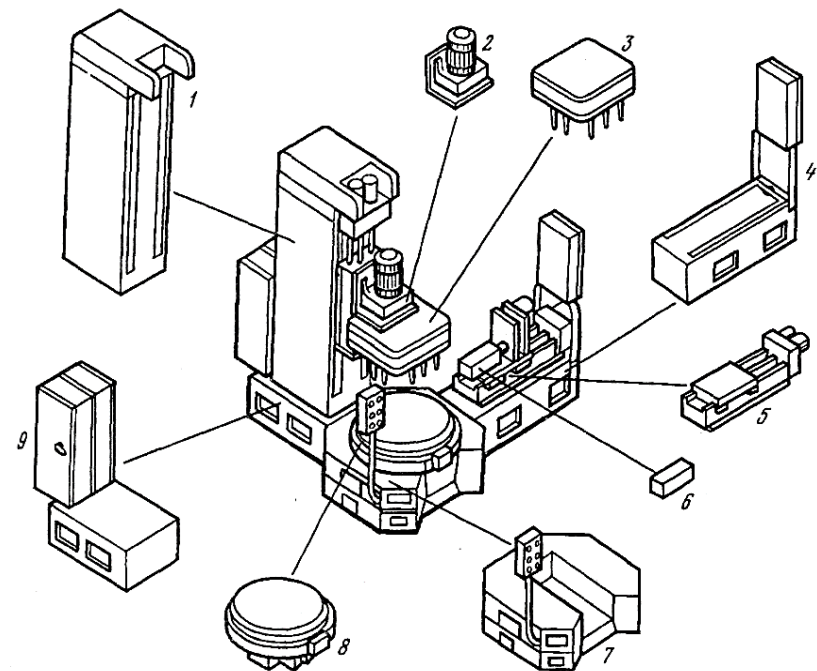
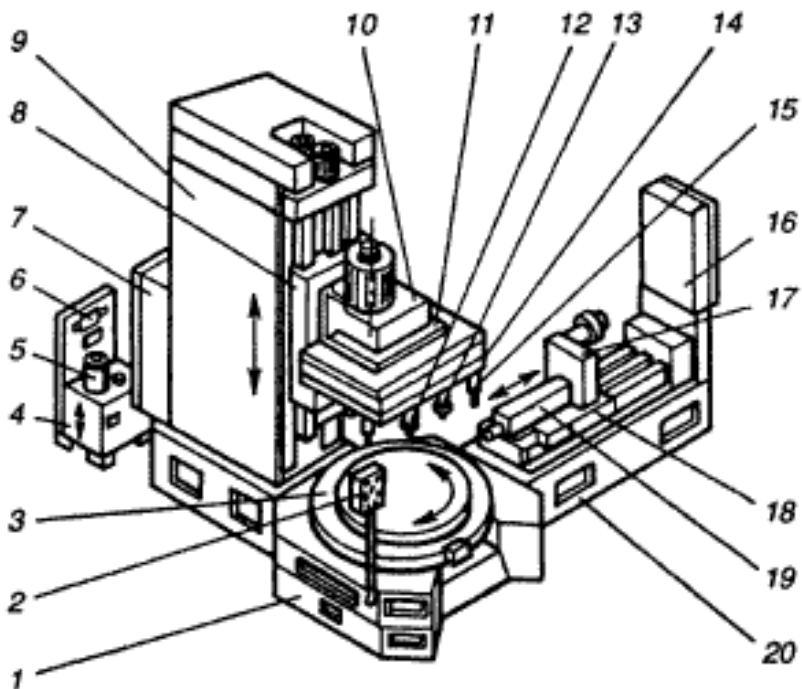
ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

Верстат АМ. М16457

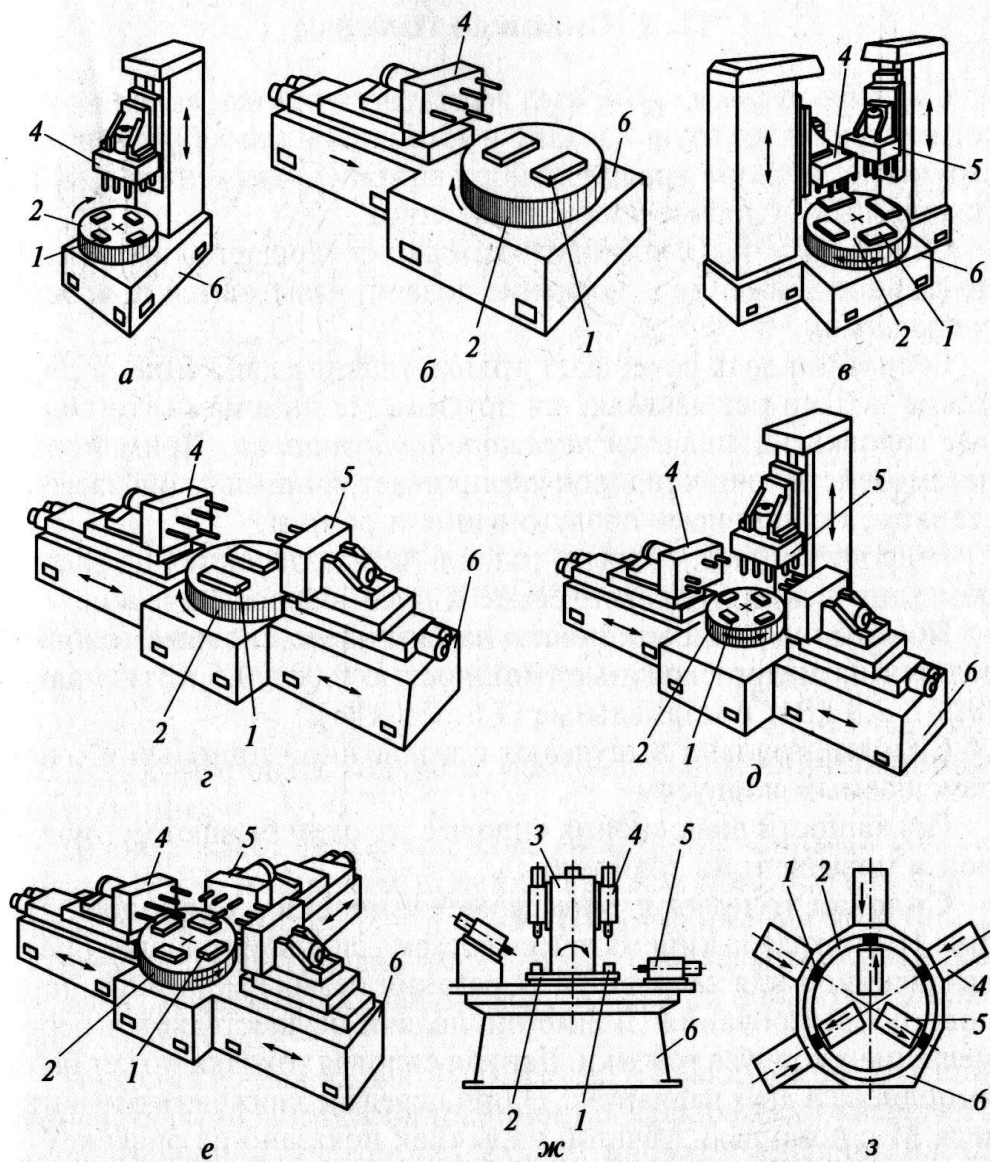
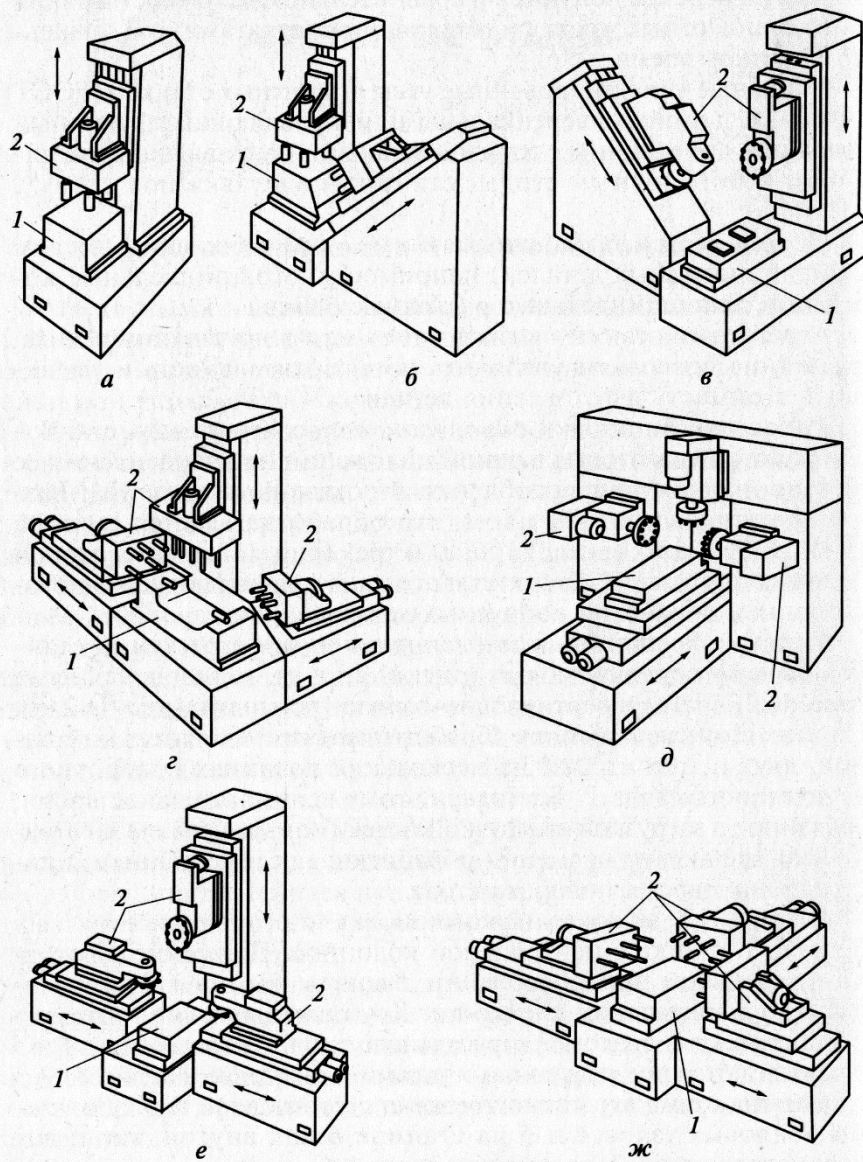
Гайки з дрібною різьбою



Уніфіковані агрегати агрегатних верстатів



Схеми компонувань агрегатних верстатів



Перспективи розвитку агрегатних верстатів

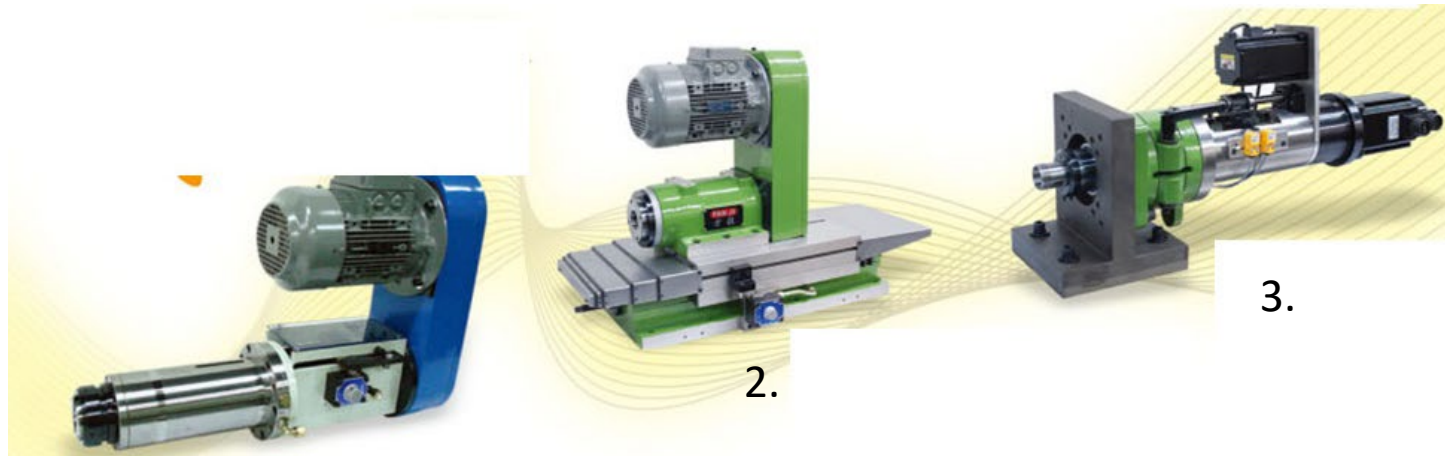
Розвиток конструкцій агрегатних верстатів як обладнання, заснованого на методі концентрації операцій, іде по наступних основних напрямках:

- 1) подальше збільшення ступеня концентрації операцій, що дозволяє обробляти деталь повністю з однієї установки від єдиних технологічних баз;
- 2) розширення технологічних можливостей верстатів цього типу за рахунок виконання операцій, які раніше не виконувалися на агрегатних верстатах;
- 3) розширення області застосування агрегатних верстатів шляхом розробки швидко переналагоджуваних конструкцій, що дозволяють використовувати їх у серійному й дрібносерійному виробництві;
- 4) збільшення точності й надійності роботи напівавтоматів і автоматів і підвищення коефіцієнта їх використання

Щоб збільшувати концентрацію операцій на агрегатних верстатах шляхом збільшення числа монтованих на верстаті силових головок, конструкція цих головок повинна задовольняти певним вимогам. Головні з них:

- 1) при мінімально можливих габаритних розмірах головки повинні забезпечити одержання необхідного осьового зусилля й потужності на шпинделі;
- 2) для повного використання можливостей інструментів конструкція головок повинна забезпечувати необхідні швидкості різання й подачі, а також можливість їх регулювання;
- 3) конструкція головок повинна забезпечувати достатню твердість для роботи на найбільш вигідних режимах різання.

Силові головки агрегатних верстатів для обробки деталі "гайка"



1.

1 - різбова головка; 2 - сверлильна багатшпиндельні - одночасно свердлить кілька отворів; 3 - фрезерна головка.

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВЕРСТАТА

Розробляється агрегатний верстат по нарізуванню гайок із дрібними кроками. Даний верстат призначений для обробки із шестиграних заготовок серії однакових деталей діаметром до 25 мм і довжиною до 35 мм із матеріалу сталь 20Х.

Даний верстат дозволяє здійснити свердління, зенкерування, розгортання в діапазоні діаметрів 25...10 мм, а також нарізування різьб із дрібними кроками залежно від установленного мітчика.

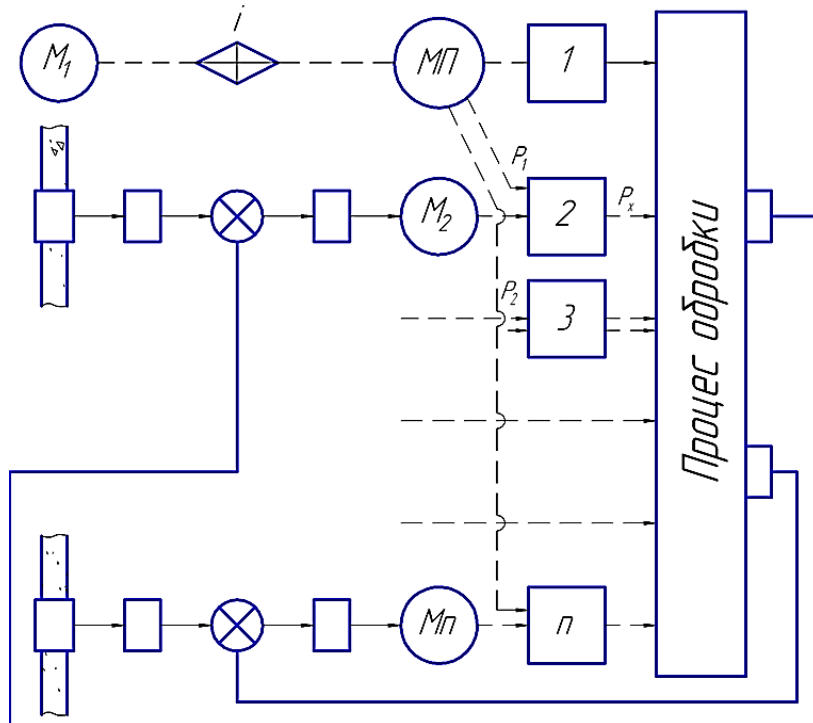
Верстат має чотири автоматичних силових головки, а також п'ятипозиційний поворотний ділильний стіл, що має наступні позиції:

- 1 позиція - завантажувальна;
- 2 позиція - свердління;
- 3 позиція - зенкерування.
- 4 позиція - розгортання.
- 5 позиція - нарізування різьби.

Технічні характеристики верстата

Характеристика	Величина
Максимальний діаметр свердління	25 мм
Мінімальний діаметр свердління	10 мм
Межі обертів шпинделя силової головки для свердління	250-800 хв ⁻¹
Число щаблів коробки швидкостей силової головки для свердління	6
Число позицій поворотного стола	4
Потужність привода силової головки для свердління	1,3 кВт

Структурна схема агрегатного верстата з ЧПК



Привод містить електродвигуни $M_1, M_2, \dots, M_n$ по числу створених рухів формоутворення, виконавчі органи $1, 2, 3, \dots, n$, МП - механізм зміни потоків потужності. Електродвигун M_1 через ланку настроювання і кінематичної зв'язаний з механізмом зміни потоків потужності, який в свою чергу зв'язаний з виконавчими органами $1, 2, 3, \dots, n$, що здійснюють процес обробки. Із схеми видно, що виконавчі органи привода подачі діючих сил (P_1 і P_2): одна від кінематичного ланцюга подачі з електродвигуном M_2 , а другою – від механізму зміни потоків потужності. Таке з'єднання механізму розподілення потужності дозволяє управляти навантаженням кінематичного ланцюга подачі в функції сили різання, автоматично розподілити потужність необхідну для процесу обробки, і передавати основну її частину по кінематичному ланцюгу головного руху, звичайно менш чутливого до перевантаження.

Алгоритм проектування привода

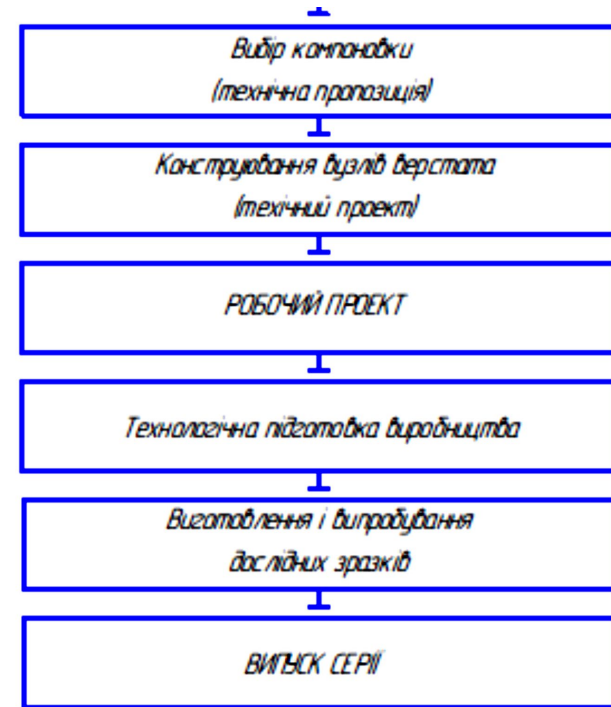
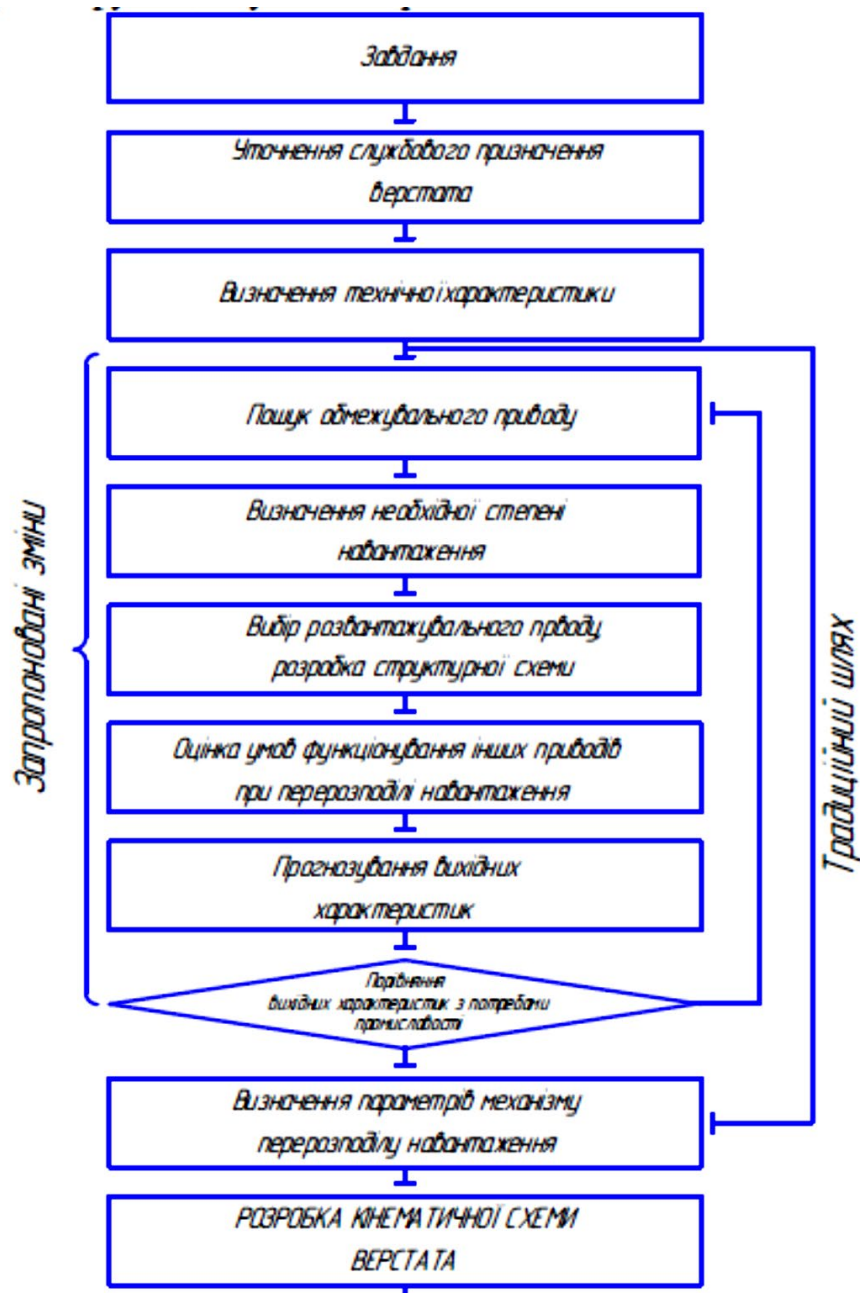
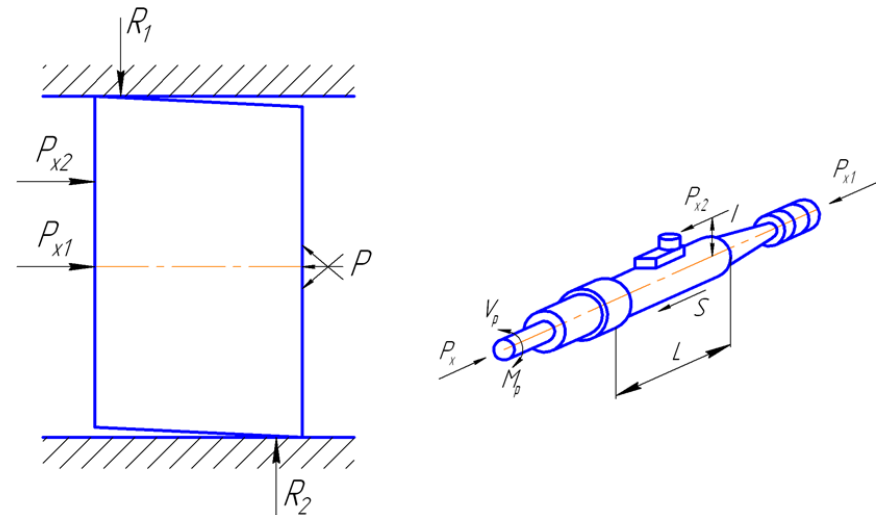


Схема навантаження виконавчого органа



Типова конструкція механізму подач пінольного типу

Стосовно до приведеної розрахункової схеми, де в якості механізму розподілення навантаження прийнята несамогальмівна гвинтова передача, параметром, який визначає відношення сил P_{x1} і P_{x2} є кут нахилу гвинтової лінії різьби. Без врахування сил тертя можна записати:

$$P_X - P_{X1} - P_{X2} = 0$$

або

$$P_x - (2 \cdot M \cdot \operatorname{tg} \Delta / d\phi) - P_{x2} = 0,$$

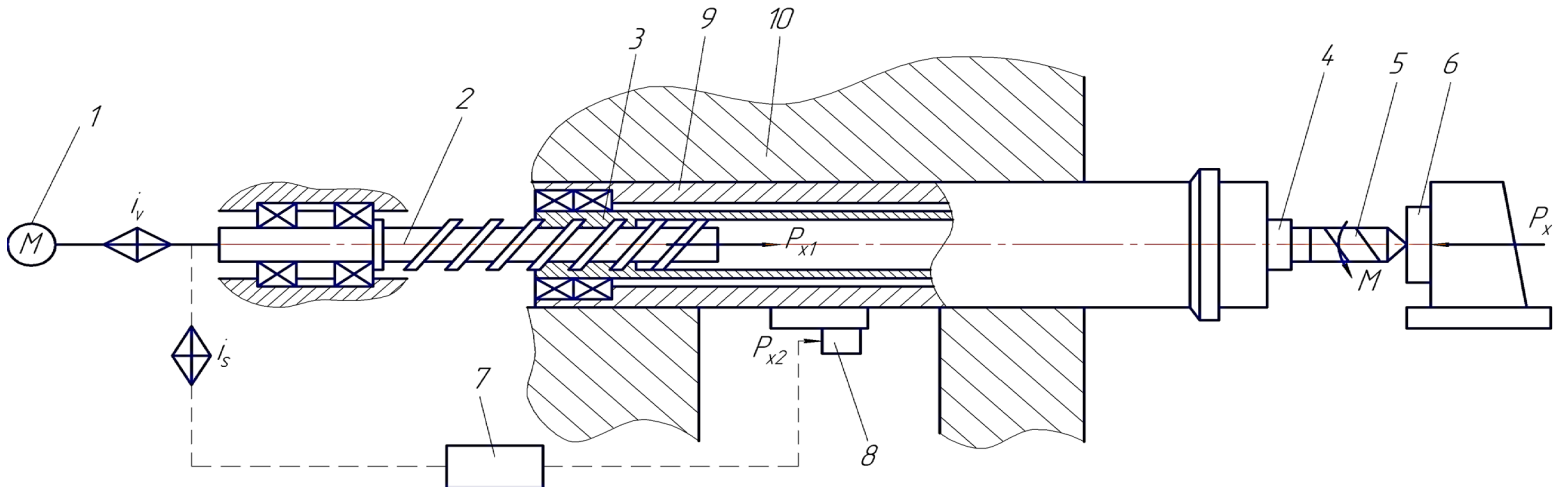
де M – обертальний момент на шпинделі;

d_{cp} – середній діаметр несамогальмівної гвинтової передачі;

Δ - приведений кут нахилу гвинтової лінії передачі.

Із рівняння кут нахилу гвинтової передачі дорівнює:

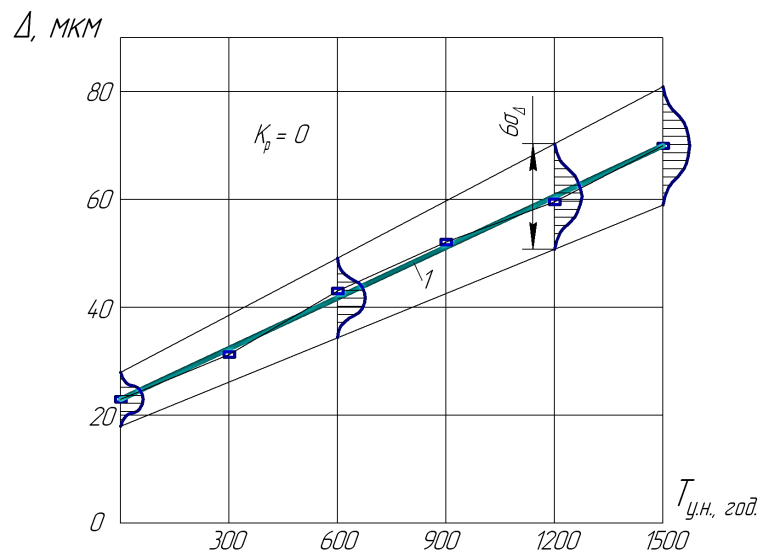
$$\Delta = \arctg(d \cdot (P_X - P_{X2})) / 2M$$



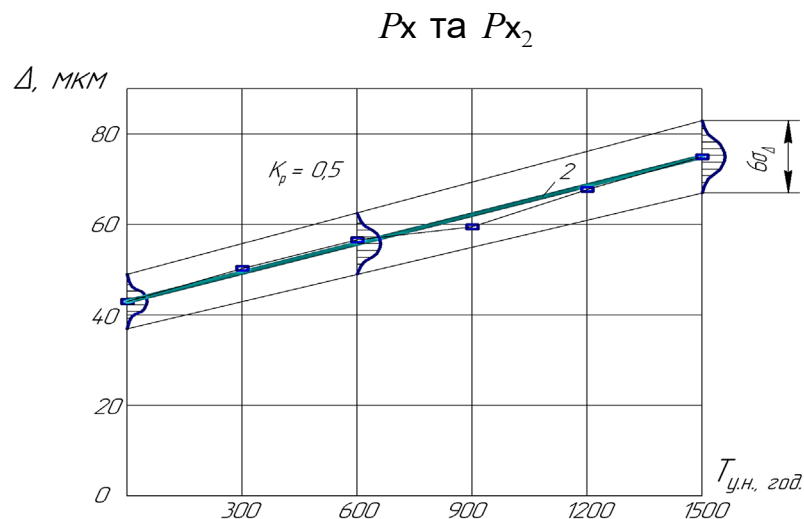
Прийнята типова конструкція силової головки з механізмом подачі пінольного типу, яка широко використовується в силових головках агрегатних верстатів. В корпусі 10 на підшипниках 3 установлена піноль 9, яка через шліцьову передачу з'єднана з шпинделем 4, а кінематичним ланцюгом подач з ланкою настроювання *is* з приводом обертання. В шпинделі 4 кріпиться інструмент 5, який обробляє заготовку 6. Шпиндель містить в своїй порожнині шліцьовий гвинтовий механізм 2 встановлений на підшипниках і разом з ним здійснює повний цикл зворотно-поступального руху, який надається йому механізмом подачі. Механізм подачі отримує рух від шпинделя через ланку настроювання *is*, черв'ячну передачу 7 обертання передається кулачку, який переміщує роликовий штовхач 8 установлений на пінолі 9. В якості механізму зміни потоку потужності і навантаження між приводом головного руху і подачі прийнята шліцьова гвинтова передача 2, кутом нахилу якої змінюється коефіцієнт K зміни потоків потужності і навантаження в приводі.

По результатам досліджень зміни точності обробки в часі для різних схем навантаження виконавчого органа після їх математичної обробки побудовані графічні залежності $D = f(Ty.i)$,

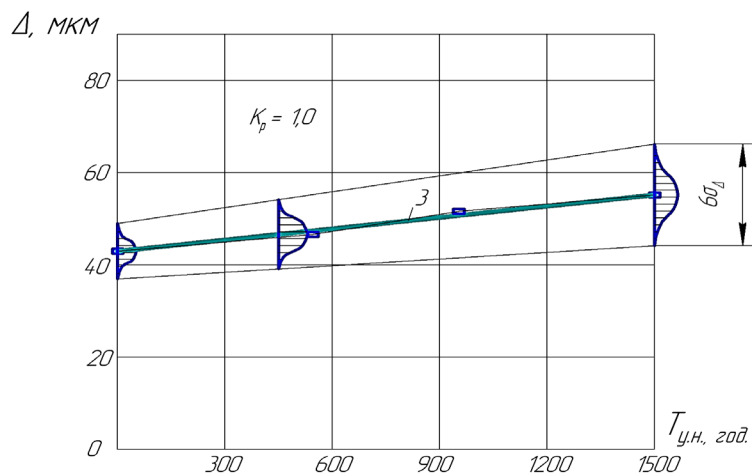
Зміна точності обробки в часі з традиційною схемою навантаження пінолі



Зміна точності обробки в часі з навантаженням виконавчого органу двома силовими потоками Px та Px_2



Зміна точності обробки в часі з співвісним розташуванням осевого зусилля Px та осевої складової Px_1 при $Px_2 = 0$



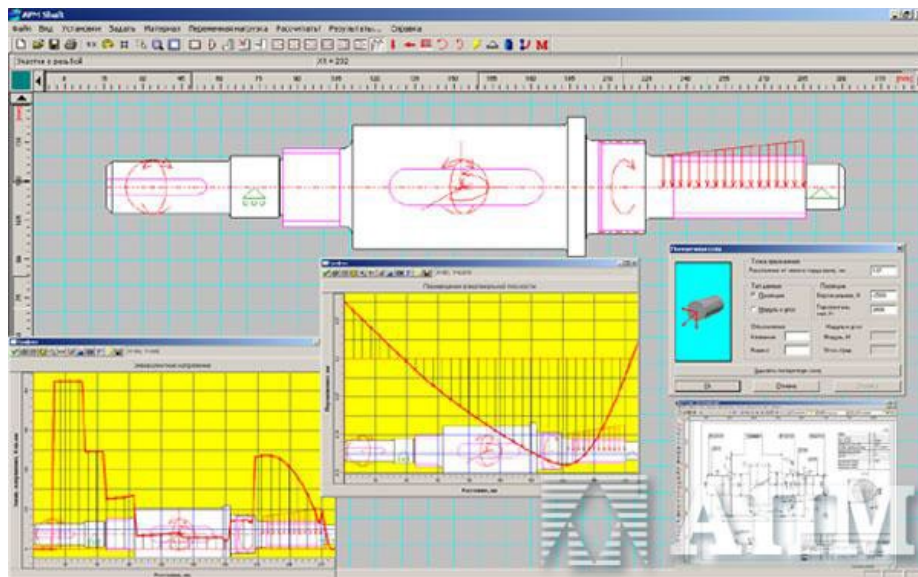
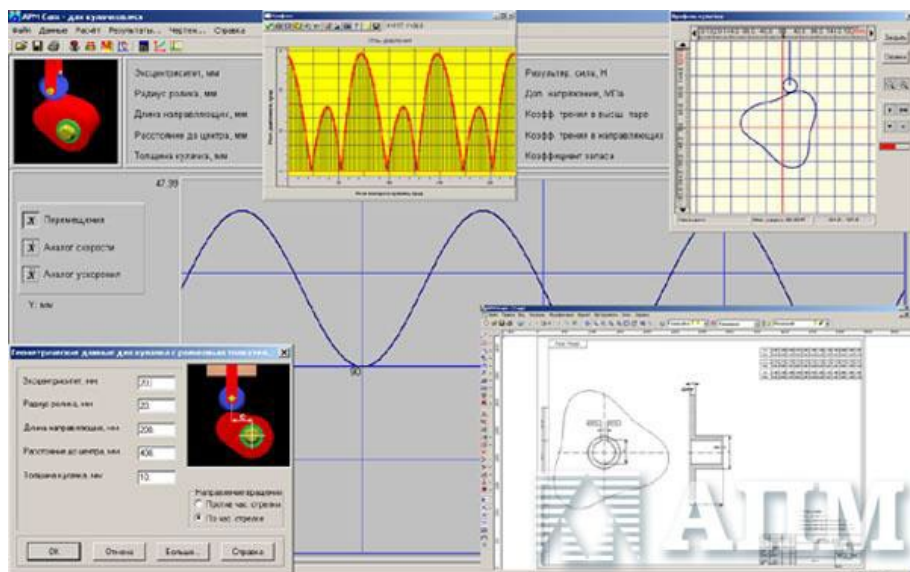
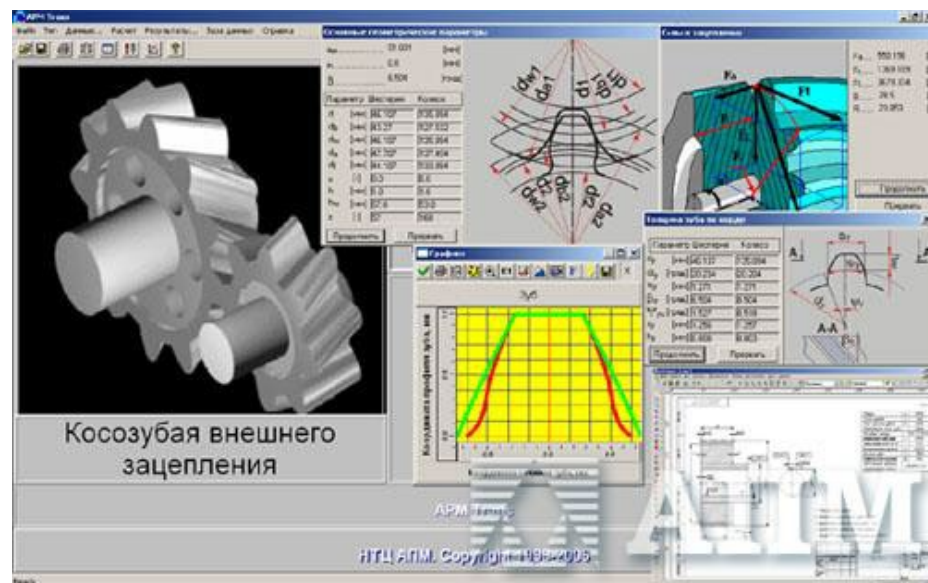
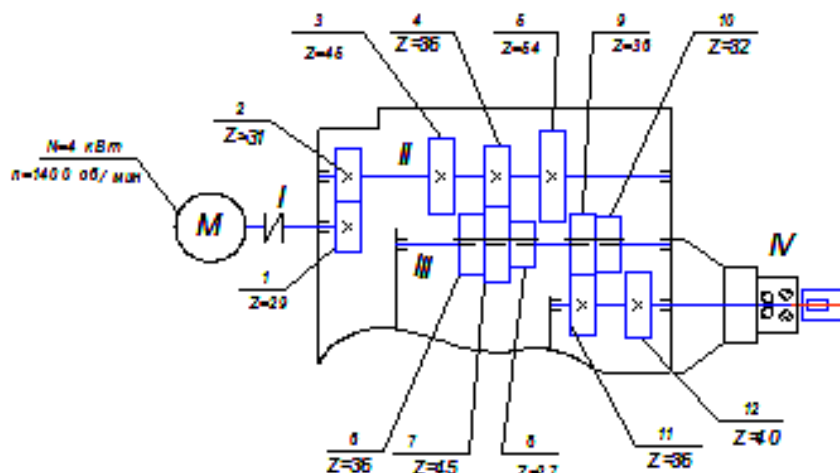
Розрахункові швидкості втрати точності обробки

K_p	γ , мкм/годину	σ_y
0	0,033	0,0022
0,5	0,0253	0,0018
1,0	0,0079	0,0006

В результаті обробки експериментальних даних по напрямку уводу осі розточувального отвору установлено, що для традиційної схеми навантаження виконавчого органа привода подачі і схеми навантаження з характеристикою $K_p=0,5$ напрямок дії зусиль Px_2 , при чому область розсіювання напрямків вектора зміщення осі отвору на виході і вході отвору $\varnothing 25$ мм менше для схеми навантаження виконавчого органа з $K_p=0,5$, чим для традиційної схеми.

ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ АІ РЕГАТНОГО ВЕРСТАТА В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ARM WINMACHINE

Кінематична схема коробки швидкостей



ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

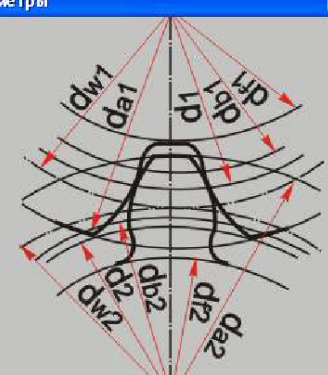
Основні геометричні параметри

Основные геометрические параметры

a_w	163.0	[мм]
m	2.0	[мм]
β	8.965	[град]

Параметр	Шестерня	Колесо
d [мм]	54.671	271.33
d_b [мм]	51.299	254.595
d_w [мм]	54.671	271.33
d_a [мм]	58.671	275.33
d_f [мм]	49.671	266.33
x [-]	0.0	0.0
h [мм]	4.5	4.5
b_w [мм]	73.0	68.0
z [-]	27	134

Продолжить Прервать



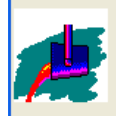
Параметри матеріалів

Параметры материалов

Допускаемые напряжения по контакту	875.0	[МПа]
Допускаемые напряжения изгиба:		
Шестерни	352.941	[МПа]
Колеса	352.941	[МПа]
Твердость поверхности		
Шестерни	50.0	[HRC]
Колеса	50.0	[HRC]

Действующие напряжения		
Контактное	861.443	[МПа]
Изгибные		
Шестерни	231.9	[МПа]
Колеса	218.682	[МПа]

Продолжить Прервать

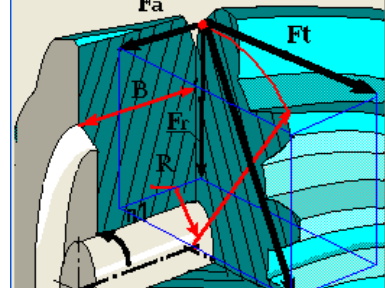


Сили в зацепленні

Силы в зацеплении

F_a	1748.333	[Н]
F_r	4124.915	[Н]
F_t	11056.656	[Н]
B	36.5	[мм]
R	27.335	[мм]

Продолжить Прервать

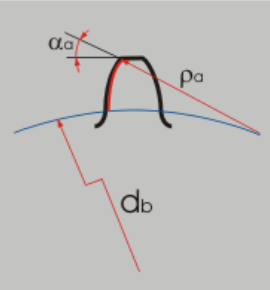


Параметри торцевого контуру

Параметры торцевого контура

α_{a1}	29.032	[град]
α_{a2}	22.378	[град]
ρ_{a1}	14.236	[мм]
ρ_{a2}	52.412	[мм]
ρ_{p1}	3.948	[мм]
ρ_{p2}	42.123	[мм]

Продолжить Прервать

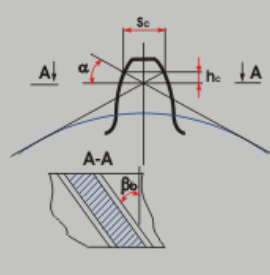


Параметри хорди

Параметры хорды

s_{c1}	2.774	[мм]
s_{c2}	2.774	[мм]
h_{c1}	1.495	[мм]
h_{c2}	1.495	[мм]
ρ_{s1}	10.912	[мм]
ρ_{s2}	48.368	[мм]
β_b	8.44	[град]

Продолжить Прервать

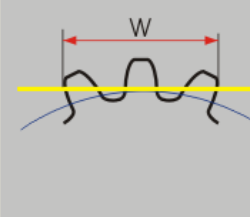


Параметри загальної нормалі

Параметры общей нормали

α_{x1}	20.228	[град]
α_{x2}	20.228	[град]
ρ_{w1}	10.608	[мм]
ρ_{w2}	47.186	[мм]
W_1	21.448	[мм]
W_2	95.404	[мм]
z_{n1}	4	[-]
z_{n2}	16	[-]

Продолжить Прервать

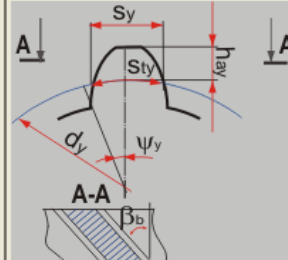


Товщина зуба по хорди

Толщина зуба по хорде

Параметр	Шестерня	Колесо
d_y [мм]	54.671	271.33
α_y [град]	20.228	20.228
s_y [мм]	3.181	3.181
β_y [град]	8.985	8.985
Ψ_{yy} [град]	3.212	0.647
s_y [мм]	3.14	3.142
h_y [мм]	2.044	2.009

Продолжить Прервать



Розташування зубів

Расположение зубьев

ρ_α	5.904	[мм]
ρ_x	40.229	[мм]
ρ_{z1}	1086.19	[мм]
ρ_{z2}	5390.723	[мм]

Продолжить Прервать

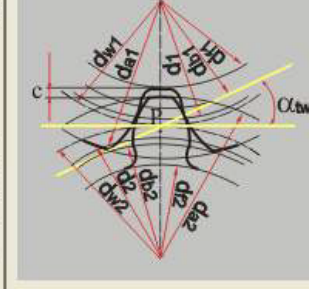
Якість передачі

Качество передачи

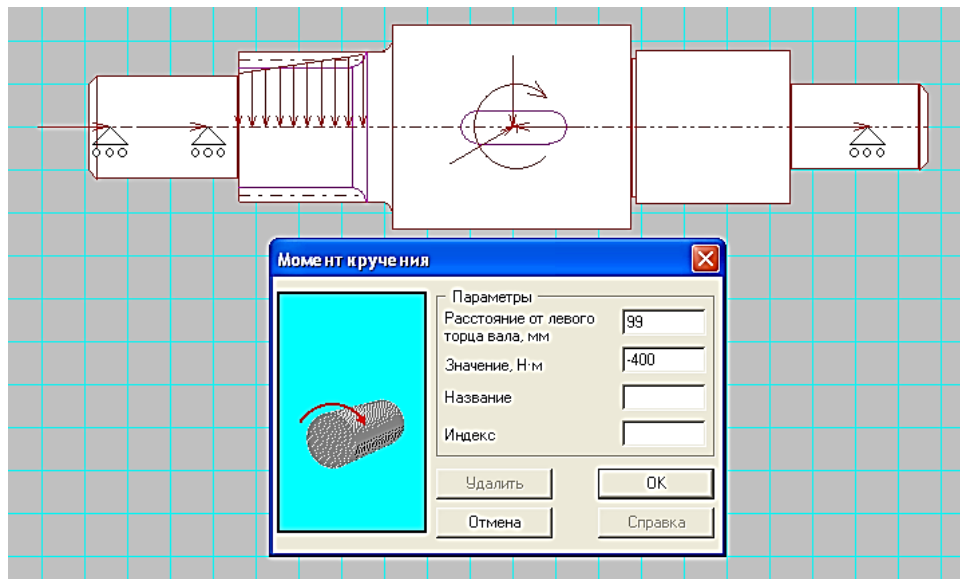
z_{min}	17.097	[-]
α_{tw}	20.228	[град]
ϵ_ϵ	1.724	[-]
ϵ_f	1.661	[-]
ϵ_γ	3.385	[-]

Параметр	Шестерня	Колесо
β_t [град]	9.631	9.116
s_{na} [мм]	1.462	1.634
c [мм]	0.5	0.5

Продолжить Прервать



ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ВАЛІВ



Собственные частоты изгибных колебаний

Порядковый Номер	Частота [рад/с]	Частота [Гц]
1	13420.9041	2136.0032
2	45155.9741	7186.7362
3	89497.4018	14243.9539
4	144134.5998	22939.7340
5	208661.5679	33209.5200

OK

Показать форму

Справка

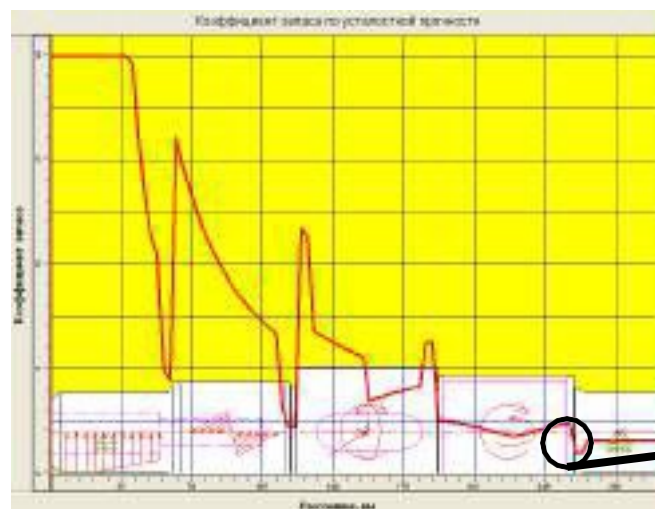
Критерии

	d, мм	b, мм	r, мм	R, мм
d < 50	3	0.25	1.0	
50 - 100	5	0.50	1.6	
d > 100	8	0.50	2.0	

OK

Отмена

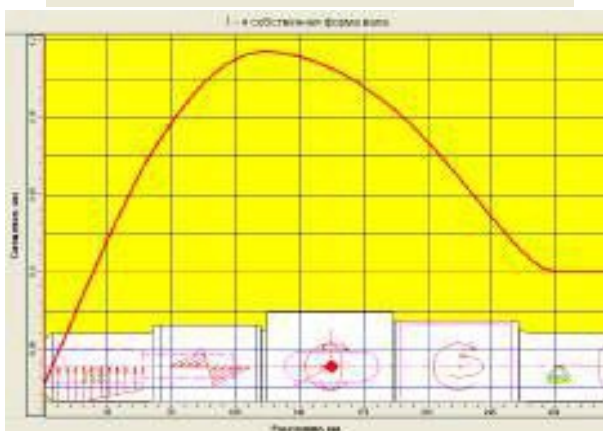
Справка



Значения

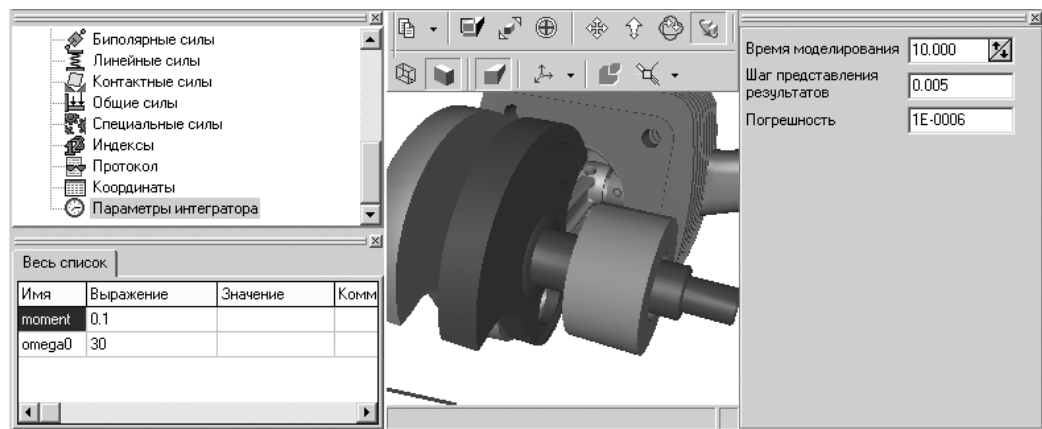
Коэффициент запаса по усталостной прочности

2.067757997
1.986128319
1.927568653
1.892186149
1.783331193
1.840441908
1.914315125
1.990469303
2.068250696
2.148841921
2.234377999
2.296610005
2.370874925
2.376874492
0.977192162
0.987462765
1.55497144

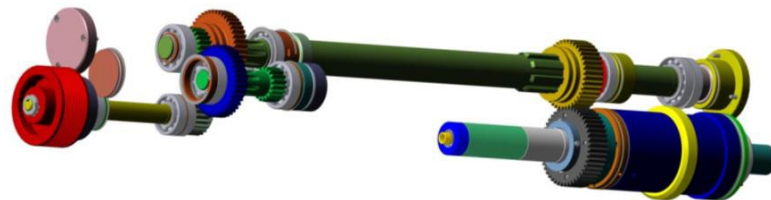


ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ АГРЕГАТНОГО ВЕРСТАТА В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ АРМ WINMACHINE

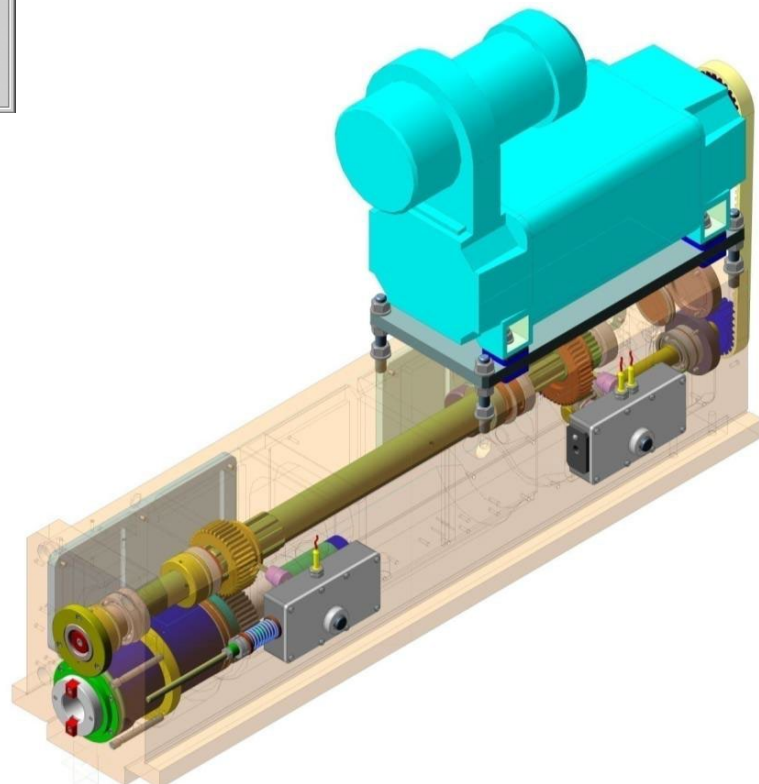
Проектування кулачкового механізму



3D-модель силовой головки верстата

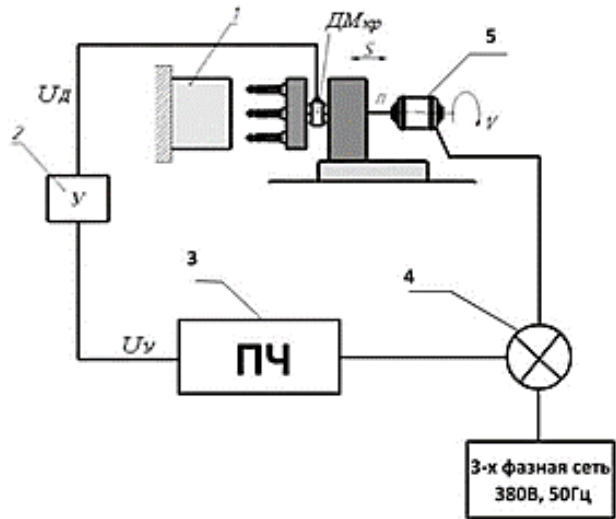


3D-модель корпуса силовой головки верстата

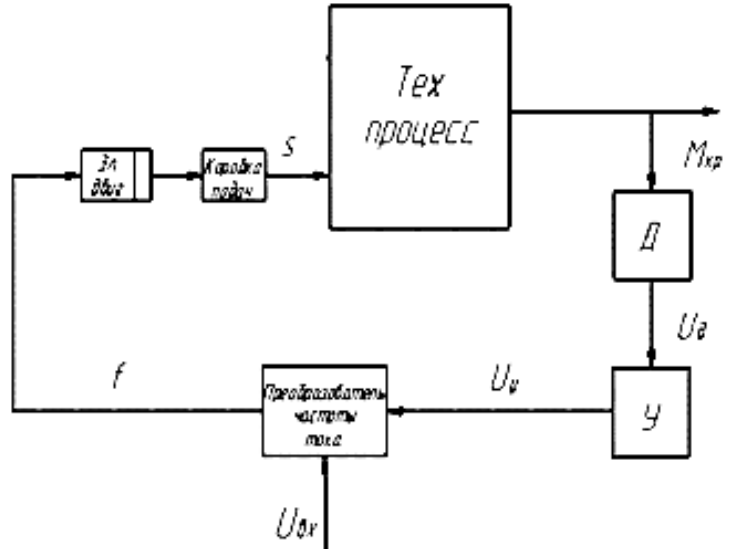


РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЗУСИЛЛЯМ РІЗАННЯ АГРЕГАТНОГО ВЕРСТАТА

Автоматична система



Функціональна схема САК



Момент різання рівний: $M_p = \mu_p \cdot P_y$ де μ_p - постійний коефіцієнт, що залежить від геометрії ріжучої частини інструмента й оброблюваного матеріалу.

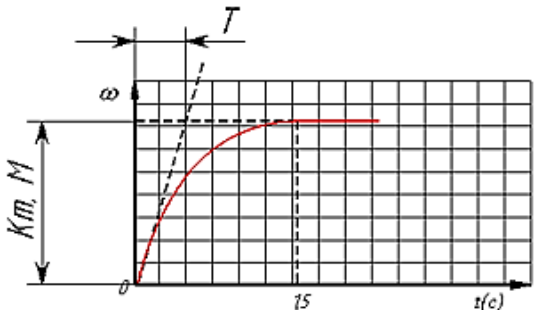
Рівняння динаміки привода: $J \frac{d\omega}{dt} + \alpha\omega + M_p = 0$ де J - момент інерції частин, що рухаються;
 ω - кутова швидкість інструмента;
 α - коефіцієнт грузлого тертя;
 M_p - момент від сили різання. $M_p = 20$ год $65 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

$$\frac{J}{\alpha} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = M_p \cdot \frac{1}{\alpha}, \text{ або } T_1 \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_m \cdot M_p,$$
$$T \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_m \cdot M_p, \text{ де: } T_1 = \frac{J}{\alpha} = 0.15(c), \quad K_m = \frac{1}{\alpha'}$$

Розв'язок даного диференціального рівняння має вигляд:

$$\omega = K_m M_p \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right),$$

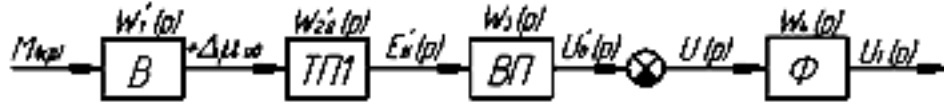
Перехідний процес електропривода



$$W_m(p) = \frac{K_m}{T_1 \cdot p + 1}$$

де $\frac{d}{dt} = p$

Структурна схема МДМ датчика



U - вимірюваний вал; $ТП$ - трансформаторні перетворювачі; $ВП$ - напівпровідникові випрямлячі; Φ - фільтр.

$$W_2(p) = K_D, \text{ де: } K_D = \frac{16\mu_0^2\omega_B\omega_H P_B S_B S_H y_D f I_B}{\mu^2 h \delta^2}$$

де: u_0 - магнітна постійна;

ω_B, ω_H - число витків котушок виміру й порушення;

P_B - число пар полюсів порушення;

S_B, S_H - площі проекції на поверхню вала полюсів порушення й виміру відповідно;

I_B - діюче значення струму в полюсній котушці обмотки збудження;

h - деяка середня глибина проникнення магнітного потоку в тіло вала.

Передатна функція датчика:
$$W_D(p) = \frac{\Delta U(p)}{M_p(p)}$$

Залежність вихідного сигналу від
крутного моменту

$$W_D(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p) \left[\sum_{i=1}^k W_i(p) \right] = W_{2\delta}(p) W_3(p) W_4(p) W_1(p).$$

$W_1(p)$ - передатне відношення, що залежить від завантаженості вимірюваного вала.

$$\Delta W_1(p) = \frac{\beta}{M_p} = \varepsilon, \text{ де } \varepsilon - \text{модуль пружності вала}$$

$$W_3(p) = K_D, \quad K_D = \frac{2\sqrt{2rr_H}}{(r+r_H)\sqrt{r^2+x_H^2}}$$

де: r - опір вимірювальної схеми діфдуктора;

r_h - активний опір навантаження;

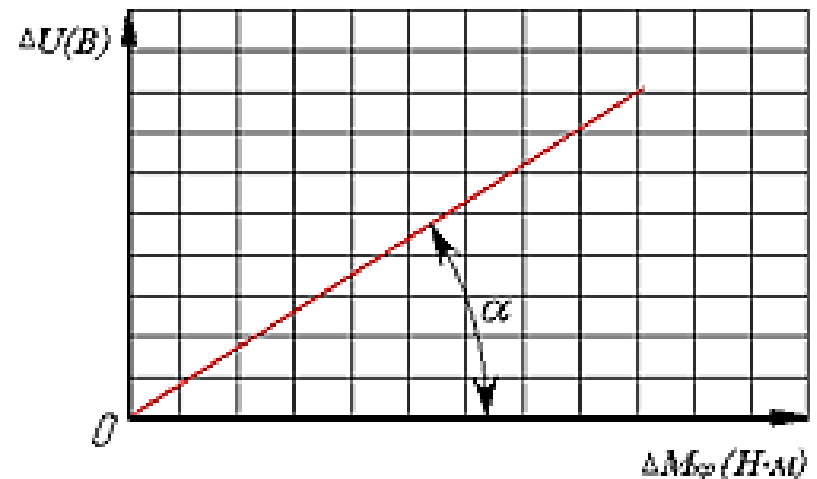
x_H - індуктивний опір вимірювальної обмотки.

Таким чином, можна вважати, вихідну характеристику датчика лінійної, і його математична модель має вигляд: $\Delta U = \Delta M_p \cdot K_D$

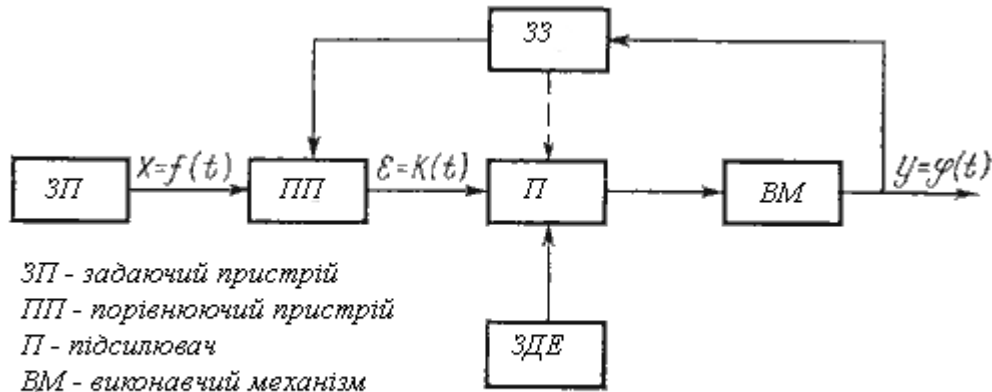
де: ΔU - зміна напруги датчика;

ΔM_p - момент різання;

K_D - коефіцієнт підсилення датчика.



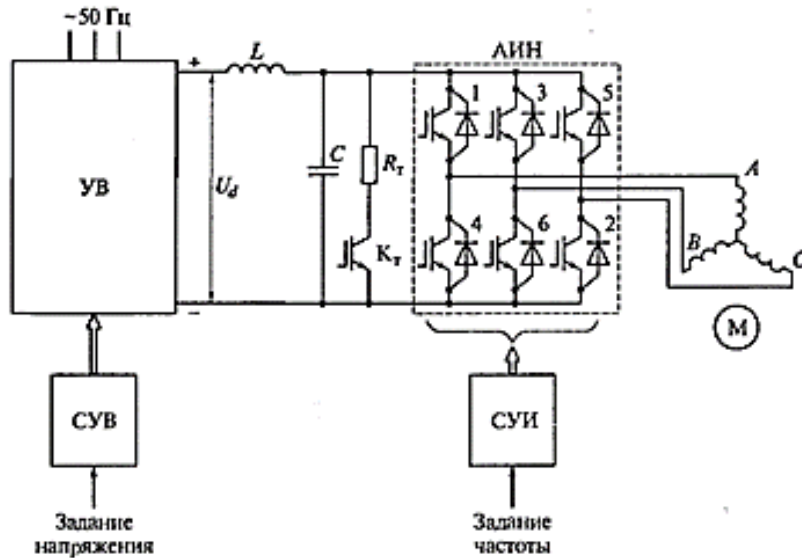
Блок-схема одного каналу підсилювача



ЗП - задаючий пристрій
 ПП - порівнюючий пристрій
 П - підсилювач
 ВМ - виконавчий механізм
 ЗЗ - зворотній зв'язок
 ЗДЕ - зовнішнє джерело енергії

Коефіцієнт підсилення сигналу рівний: $K_y = \tan \Delta U_y / \Delta U$

Структурна схема перетворювача частоти струму



Математична модель підсилювача має вигляд:

$$\Delta U_y = \Delta U \cdot K_y$$

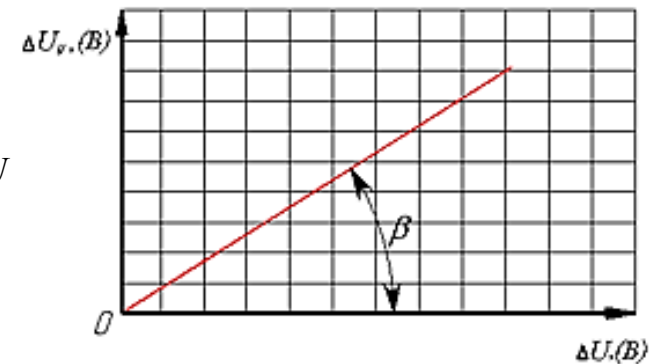
де ΔU_y - посилена напруга;

ΔU - напруга датчика;

K_y - коефіцієнт підсилення підсилювача.

Передатна функція: $W_y(P) = \frac{\Delta U_y}{\Delta U}$

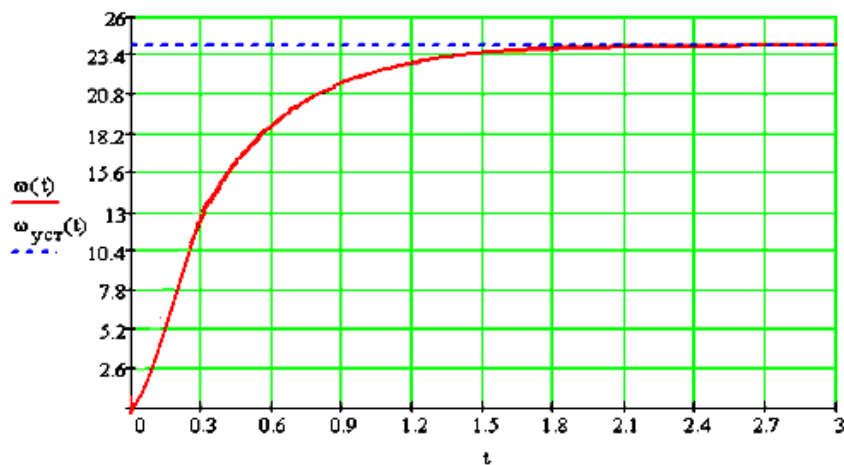
Залежність вихідної напруги від сигналу датчика



Загальний вид перетворювача частоти струму VFD-V



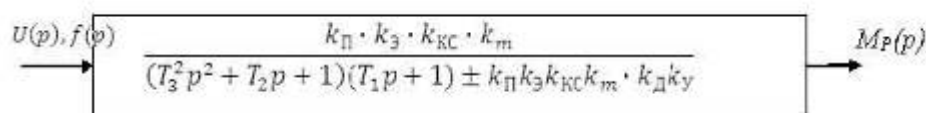
Динамічна характеристика електродвигуна (частота обертання вала електродвигуна)



Динамічна характеристика коробки подач



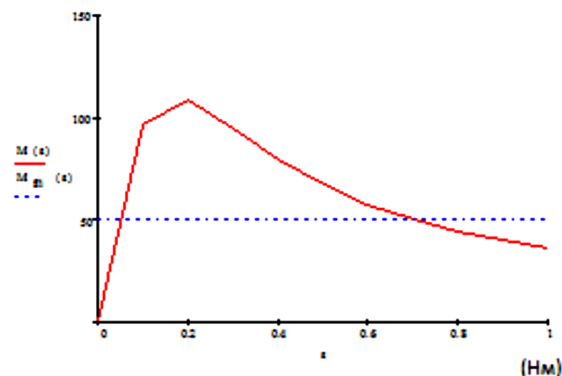
На схемі



Механічні характеристики двигуна залежно від ковзання

s	0
0	1 · 10 ⁻⁷
1	0.1
2	0.2
3	0.3
4	0.4
5	0.5
6	0.6
7	0.7
8	0.8
9	0.9
10	1

M(s) =	1.294 · 10 ⁻⁴ J
0	96.144
1	108.563
2	94.365
3	79.195
4	67.049
5	57.701
6	50.453
7	44.73
8	40.124
9	36.349
10	



Поєднуючи все ланки в єдину систему можна одержати автоматичну систему в більш зручній формі, шляхом проведення ряду операцій над передатними функціями динамічних ланок. Отримана схема системи дозволяє розглянути процес у найпростішій формі.

Технологічний процес різання: $W_m(p) = \frac{k_m}{T_1 p + 1}$

Передатне відношення датчика: $W_d(p) = k_d$

Передатне відношення підсилювача: $W_y(p) = K_y$

Передатні функції для системи

Перетворювач частоти струму: $W_{np}(P) = k_{п}$

Асинхронний трифазний електродвигун:

$$W_3(P) = \frac{k_3}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}$$

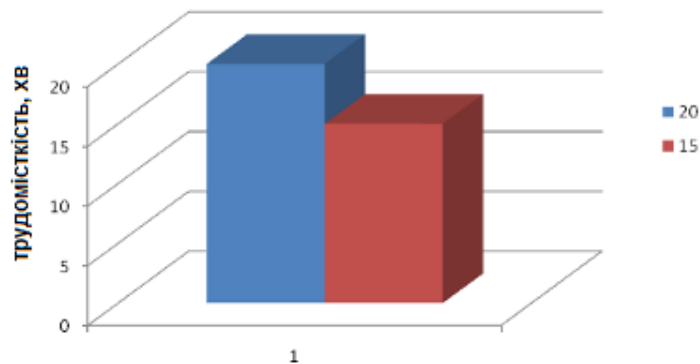
Коробка швидкостей: $W_{кп}(p) = \frac{s}{\omega} = k_{кк}$

За правилами з'єднання ланок:

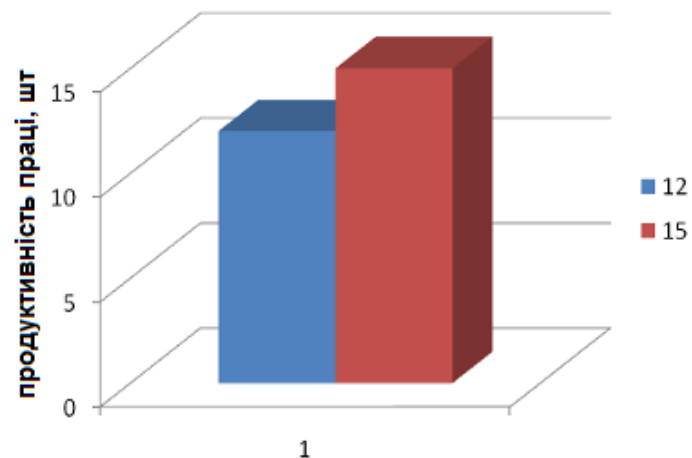
$$W_{\Sigma M}(p) = \frac{k_{п} \cdot k_3 \cdot k_{кк} \cdot k_m}{(T_3^2 p^2 + T_2 p + 1)(T_1 p + 1) \pm k_{п} k_3 k_{кк} k_m \cdot k_d k_y}$$

РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

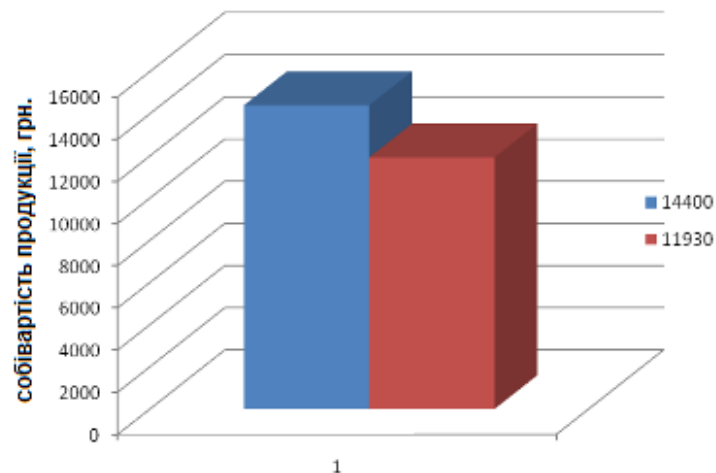
Зниження трудомісткості виготовлення продукції



Зростання продуктивності праці



Зниження собівартості продукції



Модернізований верстат АМ. М16457



-  базовий варіант;  проектний варіант

ВИСНОВКИ:

Дана робота була спрямована на зменшення та усунення похибок технологічних режимів робіт (стабілізація швидкості різання), запобігання заклинювання різального інструменту, а також створення нового агрегатного верстата з адаптивною системою управління. Система, розроблена тут, має конструктивно нові рішення (створена автоматична система керування при безперервній обробці) забезпечує сталість швидкості подачі інструменту, яка стає актуальною при обробці деталей. Спроековано пристосування з безперервного нарізування гайок. Система автоматичного регулювання, розроблена в даній роботі здатна відповісти вимогам необхідної точності, що пред'являються до оброблених деталей.

1. Розроблені принципові, функціональні й структурні схеми САК зусиллям різання агрегатних верстатів;
2. Розроблені математичні моделі, як окремих елементів, так і в цілому систем автоматичного керування режимами робіт агрегатного верстата.
3. Математичні моделі й алгоритм розрахунків САК дозволяє зробити повний розрахунок їх параметрів, що дає можливість проектувати їх до подібних верстатів, призначених для обробки отворів.

У методичній частині магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Особливості підвищення ефективності агрегатного верстата за рахунок автоматичного керування зусиллями різання» з дисципліни: «Системи автоматизованого проектування в машинобудуванні» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», були сформульовані оперативні цілі семінару, обраний тип та форма проведення семінару, визначений перелік питань для обговорення, сформульована мотивація для зацікавленості студентів у вивченні теми, проаналізовані базові умови навчання з теми, обрані та проаналізовані джерела інформації для підготовки до семінару, описані критерії оцінювання доповідей студентів на семінарі та розроблений сценарій проведення семінарського заняття з теми.