

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Конструювання компонентів приводу головного руху токарного
напівавтомата для забезпечення технологічного процесу
виготовлення деталі “Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10”.

Виконав: студент (ка)4 курсу, групиМВ-41

напряму підготовки (спеціальності)

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	(підпис)	Ткачук В.Ю.	(прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Сеник А.А.	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Кобельник В.Р.	(прізвище та ініціали)
Завід. кафедри	(підпис)	Крупа В.В.	(прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)		(прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Ткачуку Василю Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання компонентів приводу головного руху токарного
напівавтомата для забезпечення технологічного процесу
виготовлення деталі «Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10».

Керівник роботи Сеник Андрій Антонович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «23» 01 2025 року № 4/7-35

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Тех. креслення деталі «Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10»
Базовий технологічний процес обробки деталі. Верстати-аналоги.

Аналоги конструкцій коробок подач вертикально-свердлильних верстатів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина (загальна частина). Характеристика об'єкту виробництва

2. Технологічна частина Технологічний розрахунок

Розробка маршрутного та операційного технологічного процесу обробки

Інструментальне забезпечення технологічної операції

3. Конструкторська частина Розробка кінематичної схеми верстату.

Конструювання вузлів верстата. Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

Деталь «Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10», заготовка – 1 ф.А1

Компоновка – 1 ф.А1

Кінематична схема верстата – 1 ф.А1

Контрольний пристрій – 1 ф.А1.

Карта налагодження. – 1 ф.А1.

Пристосування для обробки – 1 ф.А1.

Шпиндельний стіл - 1 ф.А1.

[illegible][illegible]

_____ Ткачук В.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ Сеник А.А. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ткачук В. Ю. Конструювання компонентів приводу головного руху токарного напівавтомата для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі “Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10”: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 133 – Галузеве машинобудування /кер. А.А. Сеник. Тернопіль : факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВ-41.: ТНТУ 2025.

У бакалаврській роботі розглянуто повний комплекс питань, пов'язаних із забезпеченням ефективного серійного виробництва зазначеної деталі. Проведено техніко-функціональний аналіз деталі, оцінено існуючий заводський технологічний процес та сучасні тенденції в області верстатобудування й металообробки. Обґрунтовано доцільність модернізації приводу головного руху для покращення технологічного процесу. Спроектовано модернізований привід головного руху токарного напівавтомата, проведено кінематичні та силові розрахунки, побудовано структурну сітку та графік обертів, виконано розрахунок на міцність і жорсткість шпиндельного вузла.

Ключові слова: токарний напівавтомат, технологічний процес, привід головного руху, шпиндельний вузол, маточина заднього колеса.

ABSTRACT

Tkachuk V. Yu. – *Design of main drive components of a semi-automatic lathe to support the technological process for manufacturing the “Rear Wheel Hub 695N-3104015-10”* bachelor's qualification work: specialty 133 – Industrial Engineering / supervisor A.A. Senyk. Ternopil: Faculty of Engineering of Machines, Structures and Technologies, Department of Machine Tools and Instruments Design, Group MV-41.: TNTU 2025.

The bachelor's thesis addresses the full range of issues related to ensuring efficient serial production of the specified part. A technical and functional analysis of the part was conducted, the existing factory technological process and modern trends in machine tool construction and metalworking were evaluated. The feasibility of modernizing the main drive to improve the technological process was substantiated. A modernized main drive for the turret lathe semi-automatic machine was designed, including kinematic and power calculations, development of a structural diagram and speed chart, and strength and rigidity analysis of the spindle assembly.

Keywords: turret lathe semi-automatic machine, technological process, main drive, spindle assembly, rear wheel hub.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Анотація	Літ	Аркуш	Аркушів	
Розроб.	Ткачук					Н		1	
Перевір.	Сеник А.А.					ТНТУ, гр. МВ-41			
Рецензен									
Н. контр.	Кобельник В.Р.								
Зав. каф.	Крупа В.В.								

ЗМІСТ

ВСТУП .....	.....
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	.....
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, службове призначення, ТУ .....	.....
1.2 Аналіз базового технологічного процесу .....	.....
1.3 Сучасні досягнення в області технології виготовленні подібних деталей ....	.....
1.4 Висновки .....	.....
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	.....
2.1 Встановлення типу та організаційної форми виробництва .....	.....
2.2 Вибір способу отримання заготовки .....	.....
2.3 Вибір методу обробки поверхонь .....	.....
2.4 Вибір та розрахункове обґрунтування технологічних баз .....	.....
2.5 Визначення допусків, припусків і операційних розмірів .....	.....
2.6 Розмірний аналіз технологічного процесу .....	.....
2.7 Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення .....	.....
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	.....
3.1. Кінематичний розрахунок приводу верстата .....	.....
3.1.1 Визначення граничних чисел обертів шпинделя і обґрунтування структурної формули приводу .....	.....
3.1.2. Побудова структурної сітки і графіка чисел обертів .....	.....
3.2 Опис конструкції і принципу роботи вузла .....	.....
3.3 Загальний силовий розрахунок .....	.....
3.4. Розрахунок та конструювання шпиндельного вузла .....	.....
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	.....
ВИСНОВКИ .....	.....
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	.....
ДОДАТКИ .....	.....

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ					
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата						
Розроб.		Ткачук В.Ю.			Зміст			Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Сеник А.А.						Н		1
Рецензент								ТНТУ, гр. МВ-41		
Н. контр.		Кобельник В.Р.								
Зав. каф.		Крупа В.В.								

ВСТУП

Роль машин у народному господарстві дуже велика, тому машинобудуванню приділяють велику увагу.

У машинобудуванні розділяють три основних складових частини спеціалізації, а саме – конструкцію, технологію і експлуатацію.

Технологія машинобудування виникла на базі інших технологічних дисциплін і, в першу чергу, на базі технології металів.

В умовах масового і серійного виробництв мають використовуватись заготовки з близькими формами та розмірами до готового виробу та спеціальний і сортовий прокат профілів, що знизить працемісткість оброблювання на верстатах.

У самих методах оброблення різаннями застосовується заміна однолезового налагодження на оброблення багатолезового.

У зв'язку з виробництвом нових абразивних матеріалів стало можливо їх подальше використання в механічних процесах.

У масовому та серійному виробництві устаткування механічних діляниць має складатися з багатоінструментальних та багатопозиційних напівавтоматів, оснащених швидкодіючими пристроями і із спеціальних верстатів.

У технології машинобудування існують дві головні проблеми: проблема якості продукції і проблема продуктивності праці. Кожна з цих проблем включає ряд більш вузьких конкретних проблем: надійність і довговічність, геометрична та функціональна взаємозамінність, технологічність створення нових способів оброблення, автоматизації технологічних процесів і функцій управління у всіх видах виробництва, проблема максимального збільшення ефективності науково-дослідницьких робіт.

У даному дипломному проекті на базі теоретичних знань при вивченні курсу „Технологія машинобудування” проводиться перехід від теоретичних методів і аналізів до розрахунків конкретних операцій, на базі яких розроблені креслення та технологічна документація.

					041Д-08.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика об'єкту виробництва, службове призначення, ТУ

Деталь із позначенням 695Н-3104015-10 виконує функцію маточини заднього колеса й входить до складу вузла 695Н-3500002-30СБ, що об'єднує гальмівний механізм і кріплення колеса на автобусі ЛАЗ 695Н. Цей вузол є частиною заднього моста, який виконує роль опори для рами та передає на неї навантаження, що виникає від коліс у процесі руху, зокрема вертикальні, гальмівні, тягові та бокові сили.

Передача обертового моменту до коліс забезпечується через піввісі, які з'єднані з диференціалом, при цьому піввісь не піддається впливу осьових і радіальних навантажень завдяки встановленню маточини на підшипниках, розміщених у півосьовому рукаві балки моста, що приймає на себе всі зусилля. На торцях балки розташовано фланці для монтажу дисків опор гальмівної системи.

Маточина заднього колеса призначена для закріплення колеса та розміщення в ній підшипників піввісі. При складанні вузла 695Н-3500002-30СБ усі компоненти повинні бути очищені, не мати слідів механічного впливу, таких як забої чи задирки, а також бути вільними від мастильних речовин на робочих поверхнях фрикційних елементів і барабанів. Регулювальні шайби розтискного кулака не повинні створювати осьовий люфт, що перевищує 1 мм.

Під час встановлення гальмівних колодок і роликів необхідно змастити осі та шийки шаром ЛІТОЛ-24 згідно з ДСТУ 21150-07, також допускається мастило контактних ділянок колодок. Після регулювання маточина має обертатися без зусиль і без помітного люфту, а контргайку потрібно затягнути до межі зусилля, використовуючи ключ довжиною 500 мм.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	Лім	Аркуш	Аркушіів	
Розроб.	Ткачук В.Ю.					Н		1	
Перевір.	Сеник А.А.					ТНТУ, гр. МВ-41			
Рецензент									
Н. контр.	Кобельник В.Р.								
Зав. каф.	Крупа В.В.								

При складанні підшипники повинні бути змащені. Технічні умови до затягування різьбових з'єднань за ISO 898-1.

Відповідно до службового призначення деталі маточина заднього колеса 695Н-3104015-10 жорсткі вимоги ставлять до поверхні, яка безпосередньо контактує з кільцями підшипника, характеристика цієї поверхні R_a 2,5. Радіальне биття становить 0,12 мм, допуск на виготовлення поверхні 0,040 мм. Всі решта поверхонь деталі оброблюється чотирнадцятим квалітетом точності, із шорсткістю R_a 12,5.

1.2 Аналіз базового технологічного процесу

Розглянемо існуючий заводський технологічний процес механічного оброблення деталі маточина заднього колеса 695Н-3104015-10 (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Існуючий заводський технологічний процес виготовлення деталі

<i>№ опер.</i>	<i>Назва операції</i>	<i>Зміст операції</i>	<i>Модель верстату</i>
1	2	3	4
010	Токарно-револьверна	1. Обточити пов. 1, витримати розмір $\varnothing$ 371-1,4 2. Підрізати торець 2 до $\varnothing$ 220-1,15 3. Підрізати торець 3 в р/р 57 4. Підрізати торець 4 до $\varnothing$ 149-0,2 5. Точити пов. 5 до $\varnothing$ 148-0,2 6. Точити пов. 6 до $\varnothing$ 158-0,2 витримавши R 4 Обточити пов. 7 до $\varnothing$ 166 – 0,2	1П371
020	Токарно-	1. Підрізати торець 1, витримати р-р	1510

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

	карусельна	176-1,0 2. Підрізати торець 2, витримати р-р 87-0,52 3. Обточити пов. 3, витримати р-р $\varnothing$ 301-0,81 4. Зняти фаски 6 і 7 2×45; $3,5 \times 45$ 5. Точити канавку 5, витримати р-ри $\varnothing$ 311,5-0,52 і глибину $5 \pm 0,30$ і ширину 23,5 – 0,52 6. Точити пов. 8, витримати $\varnothing$ 132-0,2	
030	Токарна з ЧПУ	1. Підрізати торець 1, витримати р-р 174-0,63 2. Розточ. пов. 3 до $\varnothing$ 134+1,0 на довж. $34 \pm 0,310$ 3. Підрізати торець 2, в р-р $8,5 \pm 0,36$ до $\varnothing$ 134+1,0 4. Розточити пов. 4 до $\varnothing$ 135+1,0 на вихід 5. Розточити факсу 5 2×45 6. Розточити пов. 3 до $\varnothing$ $135^{-0,028}_{-0,068}$ і $34 \pm 0,310$ 7. Повторити перехід 2, витримати р-ри $8 \pm 0,18$ $\varnothing$ $135^{-0,028}_{-0,068}$ 8. Розточити пов. 4 до $\varnothing$ 136+0,25 на вихід 9. Обточити пов. 6 витримати р-р $\varnothing$ 298-0,21	16A20Ф3

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

040	Токарна з ЧПУ	1. Підрізати торець 1, витримати р-р 23 Ø-0,72 2. Розточити пов. 2 до Ø 166+0,10 на L=15 3. Підрізати торець 3 в р-р 42,5±0,31 до Ø 166+1,0 4. Розточити пов. 4 до Ø 160+1,0 на L=12 5. Розточити пов. 5 до Ø 148 ^{-0,028}_{-0,038} на вихід 6. Підрізати торець 6 в р-р 101-0,87 до Ø 148+1,0 7. Зняти фаски 7 2*45 8. Зняти фаски 8 3*45 9. Розточити пов. 9 до Ø 168+1,0 10. Підрізати торець 3 в р-р 42±0,310 до Ø 150 ^{-0,028}_{-0,068} 11. Розточити поверхню 2 до Ø 150 ^{0,028}_{-0,068} на вихід 12. Підрізати торець 3 в р-р 172-0,03 до Ø 150 ^{-0,028}_{-0,068}	16A20Ø5
050	Радіально-свердлувальна	1. Свердлити послідовно 10 отв. Ø 20+0,052 на прохід	258
060	Радіально-свердлувальна	2. Свердлити послідовно 3 отв. Ø 8,5+0,3	258
070	Радіально-свердлувальна	3. Свердлити послідовно 5 отв. Ø 6+0,3	258
080	Радіально-	1. Свердлити послідовно 12 отв.	258

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

	свердлувальна	Ø 14,1+0,3 в р-р 36±0,3	
090	Радіально-свердлувальна	1. Свердлити одночасно 6 отв. Ø 11+0,43 на глибину 15±0,215 2. Зенкування послідовне 6 отв. Ø 11,2 на глибину 15±0,215 3. Розвернути 6 отв. до Ø 11,92+0,03 на глибину 15±0,215 4. Розвернути одночасно 6 отв. до Ø 12^{-0,03}_{-0,06} на глибину 15±0,215	258
100	Радіально-свердлувальна	1. Зенкувати фаску 7 1,6×45 10 отв. Ø 20+0,52 2. Зенкувати фаску 2 2×45 12 отв. Ø 14,1 3. Зенкування фаски 3 2×45 3 отв. Ø 8,5 4. Нарізати різь M16-811 в 12 отв. Ø 14,1 на глибину 30+30 послідовно	258
110	Радіально-свердлувальна	5. Нарізати різь M10-611 в 3 отв. Ø 8,5 на вихід послідовно	258

1.3 Сучасні досягнення в області технології, обладнання і оснащення при виготовленні подібних деталей

Основним вектором розвитку технологічних процесів у виробництві машинних компонентів є удосконалення якості отримання заготовок, максимальне наближення їхньої конфігурації до форми готового виробу, зменшення припусків, що, своєю чергою, сприяє зниженню обсягів обробки та підвищенню загальної ефективності виробництва. Це також позитивно впливає

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

на зменшення трудових витрат під час складання. Останнім часом активно впроваджуються автоматизовані системи проєктування технологічних процесів (САПР ТПВ), а також створюються гнучкі виробничі комплекси, які дозволяють оперативно адаптуватися до змін виробничих завдань. Значний внесок у підвищення стійкості інструменту та продуктивності обробки забезпечують інновації у конструкціях ріжучого оснащення, використання передових матеріалів — таких як високолеговані швидкоріжучі сталі, зносостійкі тверді сплави, металокерамічні елементи з надтвердими включеннями, зокрема на основі кубічного нітриду бору. Рациональний підбір режимів різання також є важливим фактором ефективності. У сфері застосування обладнання активно використовуються автоматичні, напівавтоматичні верстати, агрегатні модулі, оброблювальні центри та верстати з числовим керуванням (ЧПК), що дозволяє скоротити час виконання операцій і зменшити витрати. Доцільним є широке використання універсальної оснастки, яку можна багаторазово застосовувати при зміні номенклатури, замість спеціалізованої, хоча в умовах масового чи великосерійного виробництва перевага надається саме спеціальним пристроям, які забезпечують вищу продуктивність та точність, знижуючи при цьому як основний, так і допоміжний час. При виконанні кожної операції підбирається інструмент, який відповідає вимогам точності та якості обробки. Вибір засобів контролю ґрунтується на особливостях поверхні та необхідній точності вимірювання. Тип заготовки обирається з урахуванням форми, матеріалу та серійності виготовлення, які вказані у конструкторській документації.

1.4 Висновки

Таким чином, після аналізу існуючого технологічного процесу виготовлення деталі типу „Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10” і з урахуванням збільшення річного обсягу виробництва до 50 000 одиниць, обґрунтованим рішенням є модернізація засобів технологічного оснащення. Зокрема, доцільним є впровадження багатошпindelних свердлильних головок,

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

серед яких: десятишпиндельна головка для одночасного свердління десяти отворів діаметром 20+0,052 мм; трьохшпиндельна для виконання трьох різьбових отворів М10; а також комбінована багатошпиндельна головка для одночасного свердління отворів з різьбленням М16 (12 шт.) і отворів діаметром 6+0,3 мм (5 шт.). Для зменшення допоміжного часу та забезпечення стабільної точності обробки варто застосовувати токарні пристрої для швидкої фіксації та центрування деталі на верстаті.

Для підвищення ефективності виготовлення деталі „Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10” при великосерійному виробництві (до 50 000 шт./рік) доцільно розглянути модернізацію токарного напівавтомата, яка може охоплювати наступні технічні рішення:

Переобладнання приводів головного руху — встановлення частотно-регульованих електроприводів (інверторів) замість традиційного тришвидкісного двигуна. Це дозволить: плавно регулювати оберти шпинделя в залежності від режиму різання; забезпечити точніше налаштування на різні операції; зменшити енергоспоживання та знос вузлів.

Встановлення гідравлічного або пневматичного механізму подачі — забезпечує стабільне переміщення супорта, скорочує допоміжний час, особливо під час серійної обробки.

Інтеграція багаторізевої державки — дозволяє одночасно обробляти кілька поверхонь (наприклад, розточування декількох отворів або виконання фасок), що підвищує продуктивність і зменшує кількість проходів.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Встановлення типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва є узагальненою техніко-організаційною характеристикою, що визначається ступенем закріплення операцій за робочими місцями, різноманітністю продукції та способом пересування заготовок між робочими зонами. Одним із ключових показників рівня спеціалізації виступає коефіцієнт закріплення операцій, який відображає кількість різних операцій, що виконуються на одному робочому місці протягом певного періоду, зазвичай місяця.

Згідно з ДСТУ-Н 7914:2015 коефіцієнт закріплення операцій для групи робочих місць визначається за формулою:

$$K_{з.о.} = K_o / K_{р.м.} = \sum_{i=1}^r O_i / \sum_{i=1}^r c_p, \quad (2.1)$$

де K_o – загальна кількість операцій, закріплених за робочим місцем;

$K_{р.м.}$ – загальна кількість робочих місць;

O_i – кількість операцій, закріплених за одним робочим місцем;

C_p – кількість одиниць технолог. обладнання;

$$O_i = \eta_{зн} / \eta_{зф}, \quad (2.2)$$

де $\eta_{зн}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$\eta_{зф}$ – коефіцієнт фактичного завантаження обладнання.

$$\eta_{зф} = C_p / C_{п}, \quad (2.3)$$

де $C_{п}$ – кількість робочих місць на кожній операції

$$C_p = \frac{N \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_g \cdot \eta_{зн}}, \quad (2.4)$$

де N – річна програма випуску

$T_{шт}$ – штучний час, F_g – річний фонд часу [1]

$$T_{шт} = \phi_k \cdot T_o, \quad (2.5)$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ		
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА		
Розроб.	Ткачук В.Ю.						
Перевір.	Сеник А.А.						
Рецензент							
Н. контр.	Кобельник В.Р.						
Зав. каф.	Крупа В.В.				ТНТУ, гр. МВ-41		
					Літ	Аркуш	Аркушів
					Н		1

де T_o – основний час оброблення по операціях [2];

ϕ_k - коефіцієнт [2].

Дані для розрахунку $T_{шт.}$ зводимо в таблиці 2.1 і 2.2.

Попередній маршрут оброблення заготовки

Таблиця 2.1

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Наближ. формула та обг. T_o , хв.	ϕ_k	$T_{шт.}$, хв.
1	2	3	4	5	6
010	Токарно-револьверна	1.Обчислити пов. 1 витримуючи р-р $\varnothing 371-1,4$ 2.Підрізати торець 2 до $\varnothing 220-1,15$ 3.Підрізати торець 3 в р-р 57 4.Підрізати торець 4 до $\varnothing 148-0,2$ 5.Точити поверхню 5 до $\varnothing 148-0,2$ 6.Точити поверхню 6 до $\varnothing 158-0,2$ витримавши R 4 7.Обточити пов. 7 до $\varnothing 166-0,2$	$0,00017 dl = K$ $371 \cdot 37 = 2,39$ $0,000037 (D^2 - d^2) = K$ ($371^2 - 220^2$) = 3,30 $0,000052(178^2 - 150^2) = 0,48$ $0,000052 (D^2 - d^2) = K$ ($148^2 - 116^2$) = 0,44 $0,00018 dl = K$ $148 \cdot 58 = 1,55$ $0,00018 dl = K$ $158 \cdot 28 = 0,76$ $0,00018 dl = K$ $166 \cdot 16 = 0,48$	1,35	3,14 4,46 0,64 0,59 2,08 1,03 0,65
			9,33		12,59
020	Токарно-карусельна	1. Підрізати торець 2 витримавши р-р $176-1,0$ 2. Підрізати торець 2, витримавши р-р $27-0,52$ 3. Зняти фаски 8, 9 2×45; $3,5 \times 45$ 4. Точити канавку 10, витрим. р-р $\varnothing 311,5-0,52$ і глибину $5 \pm 0,30$ і ширину $23,5 \pm 0,52$ 5. Точити пов. 11, витримавши $\varnothing 132-0,2$	$0,000037(176^2 - 166^2) = 0,13$ $0,000037(371^2 - 298^2) = 1,31$ $0,00017 dl = K$ $371 \cdot 3,5 = 0,22$ $0,00017 dl = K$ $298 \cdot 2 = 0,10$ $0,00017 dl = K$ $311 \cdot 5 = 0,26$ $0,00017 dl =$ $0,00017 \cdot 132 \cdot 72 = 1,61$	1,50	0,19 2,71 0,15 0,33 0,39 2,42

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

		42±0,3 до 168 ^{-0,028} _{-0,068} 10.Розточити пов. 5 до Ø 150 ^{-0,028} _{-0,068} на вихід 11.Підрізати торець 4 в р-р 172 – 0,03 до Ø 150 ^{-0,028} _{0,068}	$d^2) = K (168^2 - 160^2) = 0,176$ $0,00018 dl = K$ $150 \cdot 30 = 0,81$ $0,000052 (D^2 - d^2) = K (150^2 - 116^2) = 0,47$		1,10 0,64
			4,7		6,39
050	Радіально-свердлувальна	1. Свердлити одночасно 10 отв. Ø 20+0,052 на прохід	$0,00052 dl = K$ $20 \cdot 22 = 0,23$	1,01	0,32
060	Радіально-свердлувальна	2. Свердлити одночасно 3 отв. Ø 8,5+0,3	$0,00052 dl = K$ $85 \cdot 27 = 0,23$	1,41	0,16
070	Радіально-свердлувальна	3. Свердлити одночасно 5 отв. Ø 6+0,3	$0,00052 dl = K$ $6 \cdot 37 = 0,12$	1,41	0,16
080	Радіально-свердлувальна	4. Свердлити одночасно 12 отв. Ø 14,1+0,3 в р-р 36±0,3 10	$0,00052 dl = K$ $14,1 \cdot 36 = 0,26$	1,41	0,37
			0,26		0,31
090	Радіально-свердлувальна	5. Нарізання різі М 16-64 в 12 отв. Ø 14,1 на глибину 30+30	$0,00052 dl = K$ $16 \cdot 30 = 0,192$		0,27
100	Радіально-свердлил.	6. Нарізати різі М 10-64 в 3 отв. Ø 8,5 на вихід	$0,0004 dl = K$ $10 \cdot 27 = 0,103$		0,15
			РАЗОМ:		35,73

Таблиця для розрахунку типу виробництва

Таблиця 2.2

№ п/п	Операція	Назви операції	Т шт. хв.	Ср шт.	Сп шт.	Ю _{3ф}	О ₁
1	010	Токар-револьверна	0,59	7,03	8	0,92	0,86
2	020	Токар-револьверна	6,20	3,46	4	0,90	0,87
3	030	Токарна з ЧПУ	9,12	5,26	6	0,98	0,85
4	040	Токарна з ЧПУ	6,39	3,45	4	0,93	0,87
5	050	Радіально-свердлил.	0,32	0,18	1	0,15	4,17
6	060	Радіально-свердлил.	0,16	0,09	1	0,07	8,33

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ		Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата			

Продовження таблиці 2.2

	2	3	4	5	6	7	8
7	070	Радіально-свердлил.	0,16	0,08	1	0,08	8,33
8	080	Радіально-свердлил.	0,37	0,90	1	0,16	3,75
9	090	Радіально-свердлил.	0,87	0,12	1	0,18	5
10.	100	Радіально-свердлил.	0,15	0,07	1	0,118	9,37
		ВСЬОГО:	35,73	19,99	22	-	42,4

Приклад розрахунку на 010 операцію

$$Cp = \frac{50000 \cdot 3,14}{60 \cdot 4055 \cdot 0,75} = 7,03 \text{ шт.}$$

Приймаю $Cn = 8$ шт.

$$D_{3\phi} = \frac{Cp}{Cn} = \frac{7,03}{8} = 0,87$$

$$O_1 = \frac{\eta_{3H}}{\eta_{3\phi}} = \frac{0,75}{0,87} = 0,86$$

$$K_{30} = \frac{\sum_{i=1}^r O_1}{\sum_{i=1}^r Cp} = \frac{42,4}{19,99} = 2,12$$

Отже, приймаю тип виробництва – великосерійне виробництво.

Визначимо тах випуску продукції

$$r = \frac{60 \cdot Fg}{N} = \frac{60 \cdot 4150}{50000} = 2,49 \text{ хв.}$$

Потоковий тип виробництва відрізняється тим, що кожне робоче місце виконує строго визначену операцію, а технологічні операції узгоджуються між собою з урахуванням максимальної продуктивності. Розміщення обладнання здійснюється відповідно до послідовності операцій, передбачених технологічним процесом.

Спочатку здійснюється оцінка доцільності впровадження потокової організації виробництва шляхом аналізу можливості використання

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

однономенклатурної потокової лінії, зокрема визначається, чи буде завантаження обладнання на ній нижчим за допустимий поріг у 100 %.

Добова програма:

$$Ng = \frac{N}{D} = \frac{50000}{254} = 393,7 \text{ шт.}$$

де D – кількість робочих днів в році.

Добова продуктивність:

$$Qq = \frac{V \cdot Fe \cdot \eta_{3л}}{\frac{V}{\Sigma} T_{ши}} , \quad (2.6)$$

де V – кількість операцій ТП;

Fe – факт. часу добової роботи обладнання;

$\eta_{3л}$ – коефіцієнт використання обладнання лінії

$$Qq = \frac{10 \cdot 952 \cdot 0,6}{36,76} = 155,38 \text{ шт./хв.}$$

Оскільки $N_g \geq Q_q$ – використовуємо потокову організаційну форму виробництва.

2.2 Вибір способу отримання заготовки

Під час вибору методу виготовлення заготовки враховуються такі фактори, як геометрична форма, габарити, вага, вид матеріалу, обсяг запланованого виробництва, вимоги до точності, стан поверхні та її шорсткість. Окрім того, береться до уваги тривалість підготовчого етапу та наявність необхідного технологічного оснащення на підприємстві.

Спосіб виготовлення заготовки обирається на основі порівняльного аналізу вартості різних варіантів її отримання. З урахуванням того, що деталь „Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10” виготовляється з високоміцного чавуну марки ВЧ40, найбільш раціональним методом формування заготовки є лиття:

— в пісчано-глиняній формі;

— за литими моделями.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахунок вартості заготовок проводиться по формулі:

$$S_{за.} = \frac{C_i}{1000} (Q \cdot R_T \cdot R_c \cdot R_6 \cdot R_m \cdot R_n) - (Q - q) \frac{S_{від}}{1000}, \quad (2.11)$$

де C_i – базова вартість чавуну [2];

Q – маса заготовки в кг.

K_T - коефіцієнт, що залежить від класу точності прийнятого способу одержання заготовки [2];

K_c - коефіцієнт, що вказує на ступінь складності заготовки [2];

K_6 – коефіцієнт маси заготовки;

K_m – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу [2];

K_n – коефіцієнт, що залежить від програми випуску [2];

q – маса деталі в кг.

$S_{від}$ – вартість однієї тони відходів [2];

Для порівняння двох способів складаємо таблицю 2.4.

Порівняльна таблиця двох способів отримання заготовки Таблиця 2.4

№ п/п	Показник	Спосіб одержання заготовки	
		лиття в пісчано-глинястій формі	лиття за литими моделями
1	q, кг.	23	23
2	марка матеріалу	13440	13440
3	C, грн.	7600	7600
4	Q, кг.	28	27,5
5	S від, грн.	80	80
6	R_T	1,05	1,10
7	R_c	1,45	1,54
8	K_B	0,8	0,98
9	K_M	1,24	1,45
10	K_n	0,52	0,83
11	Вартість заготовки, грн	124,3	187,9

2.3 Вибір методу обробки поверхонь

Оскільки різні поверхні деталі виконують різні функції, до них висуваються різноманітні вимоги — за точністю, шорсткістю, твердістю та іншими характеристиками. Для досягнення необхідних параметрів застосовують різні методи обробки. Вибір конкретного методу залежить від габаритів і форми заготовки, її точності, типу матеріалу, доступного обладнання, а також інших виробничих умов. Таким чином, забезпечується відповідність кожної поверхні деталі її експлуатаційним задачам. Правильність встановлення методів обробки визначається при витримуванні умови $E_p \leq \prod_{i=1}^n E_i$ і розрахунку за формулою:

$$\prod_{i=1}^n E_i = E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot \dots \cdot E_n, \quad (2.12)$$

де E_p – розрахунковий коефіцієнт уточнення;

n – число ступенів (переходів) оброблення;

E_i – окремі ступені (переходи) коефіцієнта уточнення

$$E_1 = T_1 / T_2; \quad E_2 = T_2 / T_3; \quad E_3 = T_3 / T_4; \quad \dots$$

де T_1, T_n – допуск на виготовлення даного технологічного переходу [3]

$$E_p = T_{\text{заг}} / T_{\text{дет}}, \quad (2.13)$$

де $T_{\text{заг}}$ – допуск заготовки [4];

$T_{\text{дет}}$ – допуск деталі.

Встановлення методів обробки поверхонь деталі

Таблиця 2.5

„Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10”

№ п/п	Назва поверхні метод. обробки	Квалітет	Допуск		Уточнення	
			Позначення	Величини	Формула	Значення
1	2	3	4	5	6	7
1	Пов. 1Ø 371					
	IЗ14	14	T_g	1,4	$E_p = T_3 / T_g$	2,9
	Заготовка	16	T_3	4,0	$E_1 = T_3 / T_g$	2,9
	Тог. чорн.	14	T_1^1	1,4		
2	Тор. 2 р-р					
	27 п 14	14	T_g	0,59	$E_p = T_3 / T_g$	4,23
	Заготовка	16	T_3	2,2	$E_1 = T_3 / T_2^1$	4,23
	Тог. чорн.	14	T_2^1	0,52		

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

	230 п 13	13	T_g	0,72	$Ep=T_3/Tg$	5
	Заготовка	16	T_3	3,6		
	Тог. чорн.	14	T_3^1	0,74	$E_1=T_3/T_3^1$	4,86
	Тог. чорн.	13	T_3^2	1,0	$E_2=T_3^1/T_3^2$	0,74
	Тог. чорн.	13	T_3^3	0,72	$E_3=T_3^2/T_3^1$	1,39
4	Тор. 4 р-р					
	172 п/3	13	T_g	0,63	$Ep=T_3/T_3$	5,7
	Заготовка	16	T_3	3,6		
	Тог. чорн.	14	T_u^1	1,00	$E_1=T_3/T_4^1$	3,6
	Тог. чорн.	14	T_u^2	0,87	$E_2=T_4^1/T_4^2$	1,15
	Тог. чорн.	13	T_u^3	0,63	$E_3=T_4^2/T_4^1$	1,38
5	Пов 5 Ø 150 I 7	7	T_g	0,04	$Ep=T_3/Tg$	80
	Заготовка	16	T_3	3,2		
	Тог. чорн.	11	T_3^1	0,2	$E_1=T_3/T_3^1$	16
	Тог. тонке	7	T_5^2	0,04	$E_2=T_5^1/T_5^2$	5
	Тог. тонке	7	T_5^3	0,04	$E_3=T_5^2/T_5^1$	1
6	Пов 6 Ø 160 I 14	14	T_g	1,0	$Ep^1=T_3/Tg$	3,2
	Заготовка	16	T_3	3,2		
	Розточ. чорн.	14	T_6^1	1,0	$E_1=T_3/Tg$	3,2
7	Пов 7 Ø 168 H 9	9	T_g	0,1	$Ep=T_3/Tg$	36
	Заготовка	16	T_3	3,6		
	Розточ. чорн.	11	T_7^1	0,250	$E=T_7^1/T_7^2$	1,44
	Розточ. н/чис	10	T_7^2	0,16	$E=T_7^2/T_7^3$	1,56
	Розточ. чис.	9	T_7^3	0,1	$E=T_7^3/T_7^4$	1,6
8	Пов 8 р-р 27 I 14	14	T_g	0,52	$Ep=T_3/Tg$	2,5
	Заготовка	16	T_3	1,3		
	Точіння чор.	14	T_8^1	0,52	$E=T_3/T_8^1$	2,5
9	Пов 10 Ø 311 5 п 14	14	T_g	0,32	$Ep=T_3/Tg$	10
	Заготовка	16	T_3	3,2		
	Точ. н/чис.	14	T_g^1	0,32	$E=T_3/Tg^1$	10
10	Пов 10 Ø 135 I7	7	T_g	0,04	$Ep=T_3/Tg$	62,5
	Заготовка	16	T_3	2,5		
	Розточ. чорн.	13	T_{11}	0,72	$E=T_3/T_{12}^1$	3,90
	Розточ. чис.	10	T_{11}^2	0,21	$E=T_{11}^1/T_{11}^2$	3,43
	Розточ. тонка	7	T_{11}^3	0,04	$E=T_{11}^2/T_{11}^3$	5,25
	Розточ. тонка	7	T_{11}^4	0,04	$E=T_{11}^3/T_{11}^4$	1
11	Тор. 11 р-р 174 п 13	13	T_g	0,63	$Ep=T_3/Tg$	3,97
	Заготовка	16	T_3	2,5		
	Тог. чорн.	13	T_{13}^1	0,03	$E=T_3/T_{12}^1$	3,97
12	Тор. 13 р-р 8 I 10	10	T_g	0,58	$Ep=T_3/Tg$	1,55
	Заготовка	16	T_3	0,9		
	Розточка чорн.	10	T_{14}^1	0,58	$E=T_3/T_{13}^1$	1,55
13	Пов 14 Ø 136 п 11	11	T_{14}^1	0,25	$Ep=T_3/Tg$	10
	Заготовка	16	T_3	2,5		

	Розточ. чорн.	13	T_{14}^1	0,63	$E=T_3/T_{14}^1$	3,97
	Розточ. тонка	11	T_{14}^1	0,5	$E=T_{14}^1/T_{14}^2$	2,52
14	Пов 15 Ø 298 п 10	10	T_g	0,21	$Ep=T_3/T_g$	15,24
	Заготовка	16	T_3	3,2		
	Тонк. чист.	10	T_{15}	0,21	$E=T_3/T_{15}^1$	15,24
15	Тор. 16 р-р 423, 14	14	T_g	0,62	$Ep=T_3/T_g$	2,58
	Заготовка	16	T_3	1,6		
	Розточ. чорн.	14	T_{16}^1	0,62	$E=T_3/T_{16}^1$	2,58
	Розточ. чорн.	14	T_{16}^2	0,62	$E=T_{16}^1/T_{16}^2$	
16	Отв. Ø 20 49	9	T_g	0,052	$Ep=T_3/T_g$	
	Свердління	9	T_3	0,052	$Ep=T_3/T_g$	
17	Отв. М 1046	6	T_g	0,009	$Ep=T_3/T_g$	4,5
	Свердління	9	T_{18}^1	0,043		
	Нарізка різи	6	T_{18}^2	0,009	$E=T_{18}^1/T_{18}^2$	4,8
18	Отв. Ø 6 Is 14	14	T_g	0,3	$Ep=T_3/T_g$	
	Свердління	14	T_3	0,3		
19	Отв. М 16 – М 6	6	T_g	0,011	$Ep=T_3/T_g$	3,9
	Свердління	12	T_{20}^1	0,3		
	Нарізка різи	6	T_{22}^2	0,011	$E=T_{20}^1/T_{20}^2$	3,9

2.4 Вибір та розрахункове обґрунтування технологічних баз

Від правильного вибору технологічних баз значною мірою залежать наступні фактори:

- фактична точність виконання розмірів;
- правильність взаємного розташування поверхонь;
- ступінь складності пристроїв різальних та вимірних інструментів;
- загальна продуктивність оброблення заготовки.

Основні положення, що стосуються класифікації та теорії базування, ґрунтуються на рекомендаціях ДСТУ EN ISO 6506-4:2019

Вихідними даними для вибору баз слугують: робоче креслення деталі, технічні умови на виготовлення, вид заготовки та стан її поверхонь, бажаний ступінь механізації та автоматизації процесу механічного оброблення.

При базуванні заготовки необхідно витримувати наступну умову:

$$T_{\text{дет.}} \geq T_{\text{розр.}}, \quad (2.14)$$

де $T_{\text{дет.}}$ - величина допуску, вказана на кресленні деталі;

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$T_{\text{розр.}}$ – розрахунковий допуск на даний розріз.

$$T_{\text{розр.}} = W_{\text{тс}} + E_y, \quad (2.15)$$

де $W_{\text{тс}}$ – точність технологічної системи [3];

E_y – похибка установлення заготовки.

$$E_y = \sqrt{E_b^2 + E_z^2 + E_{np}^2}, \quad (2.16)$$

де E_b – похибка базування [3];

E_z – похибка закріплення [2];

$E_{np.}$ – похибка пристрою [3].

$$E_{np.} = (1/3 \dots 1/10) T_{\text{дет.}}, \quad (2.17)$$

де $T_{\text{дет.}}$ - допуск, вказаний на кресленні деталі.

Приведемо приклади розрахунку похибки базування на операції 080 для кожної схеми наведеної на рисунках 2.1 – 2.3.

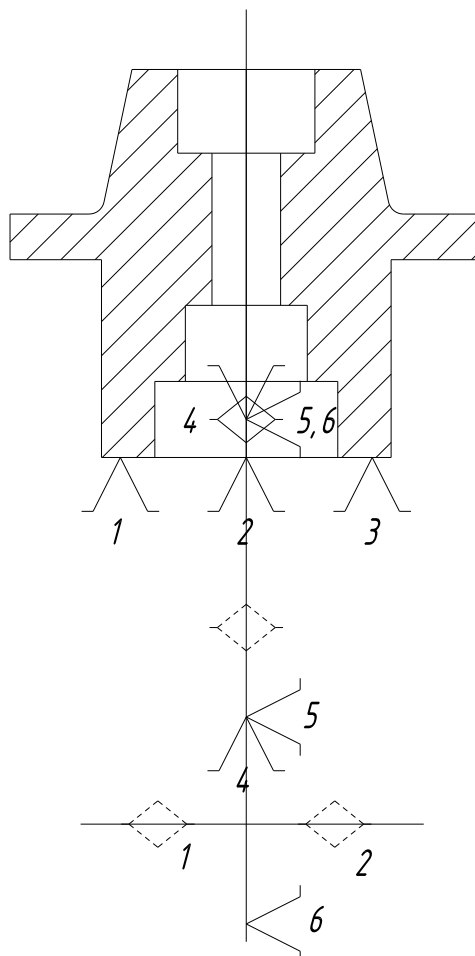


Рисунок 2.1 - Базування на розжимній оправці

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

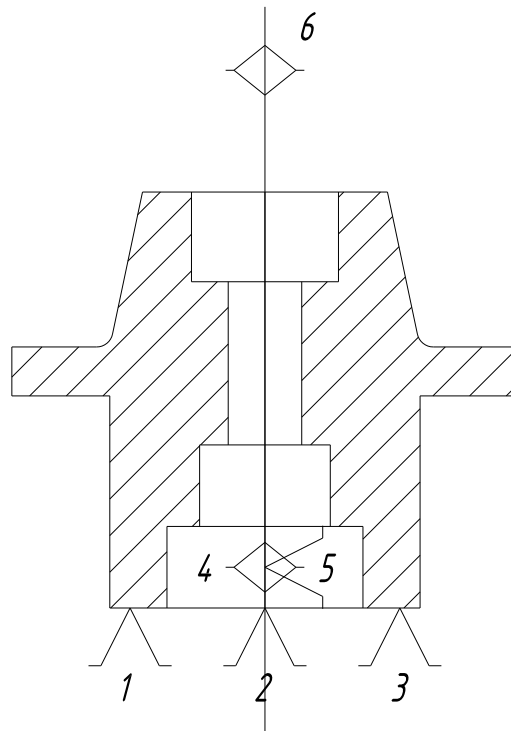


Рисунок 2.2 - Базування заготовки в призмі

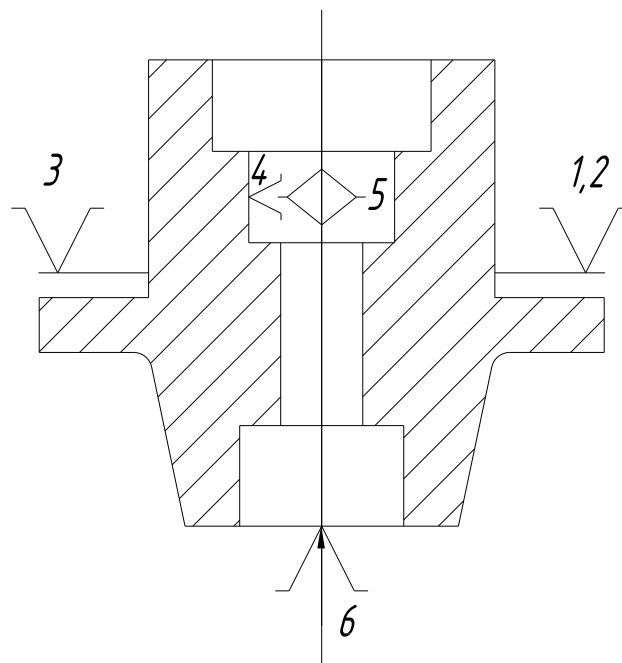


Рисунок 2.3 - Базування заготовки на пальці

Оскільки допуск на виготовлення даної поверхні складає 0,30 мм:

E_z приймаємо рівною 0,014 мм [2].

W_{mc} приймаєм рівною 0,021 мм [2].

$$E_y = \sqrt{0,048^2 + 0,014^2 + 0,075^2} = 0,054_{мм}$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$T_{\text{розр.}} = 0,21 + 0,054 = 0,296 \text{ мм}$$

Отже, розрахунковий допуск майже дорівнює технологічному допуску.

Базування заготовки в призмі, оскільки допуск на виготовлення даної деталі складає 0,30 мм:

$$E_{np} = 1/4 \cdot 0,30 = 0,075 \text{ мм}$$

E_z приймаєм рівною 0,0140 мм [2];

W_{mc} приймаєм рівною 0,21 мм [3].

E_b при даній схемі базування приймаємо рівною 0,059 мм [3].

$$E_y = \sqrt{0,059^2 + 0,014^2 + 0,075^2} = 0,093 \text{ мм}$$

$$T_{\text{розр.}} = 0,21 + 0,093 = 0,303 \text{ мм}$$

Як видно з розрахунків, розрахунковий допуск перевищує допуск на виготовлення даної поверхні.

Базування заготовки на палець, якщо $T_{\text{дет}}$ дорівнює 0,30 мм

$$E_{np} = 1/4 \cdot 0,30 = 0,075 \text{ мм}$$

E_z приймаємо рівною 0,014 [2];

E_b дорівнює 0,021 мм [3];

W_{mc} приймаємо рівною 0,21 мм [3. стр.26]

$$E_y = \sqrt{0,021^2 + 0,014^2 + 0,075^2} = 0,034 \text{ мм}$$

$$T_{\text{розр.}} = 0,21 + 0,034 = 0,244 \text{ мм}$$

Із розрахунків видно, що розрахунковий допуск не перевищує технологічного допуску.

Висновок: варіант базування заготовки на пальці є найкращим, оскільки задовольняє вище вказаному.

2.5. Визначення допусків, припусків і операційних розмірів.

У масовому виробництві користуються розрахунково-аналітичним методом розрахунків припусків на кожному технологічному переході.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Припуск повинен бути таким, щоб при його знятті ліквідовувались похибки обробки і дефекти поверхневого шару (висота нерівностей R_{Z-1} , глибини дефектного шару h_{Z-1} , просторові відхилення ρ_{i-1} в розташуванні оброблюємої поверхні відносно базових поверхонь заготовки, які виникають на виконуємо переході).

Встановлення припусків проводиться табличним [4] і розрахунковим методом [3]. Наведемо приклади двох методів, результати зведемо у таблиці 2.5 і 2.6.

Таблиця 2.5 - Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам обробки поверхні $\varnothing 371 \pm 0,7$ мм.

Технологічний перехід обробки поверхні $\varnothing 371 \pm 0,7$	Елемент припуску, мкм		Розрахунок припуску $2Z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Гран. діаметр, мм		Гран. знач. припуску мкм	
	R_z	S				d min	d max	Z_z гр. min	Z_z гр. max
заготовка	600	1010		371,5	3000	371,5	374,5		
обточування чорнове	5050	707	2603	370,3	1400	370,3	371,7	1,2	2,8

Далі проводимо більш укрупнений розрахунок [4] с. 30, табл. II 1.3, табл. II 1.4, табл. II 1.5, табл. II 1.6, табл. II 1.7 і зводимо його в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Розрахунок припусків

№ п/п	№ операції	Поверхня	Розрахунок	Кінцевий результат
1	2	3	4	5
1	010	Тор. 2 р-р 27 h 14 точ. чорн.	$Z = \min = R_z + F + \sqrt{S^2 + E^2}$ $A_{\min} = A_{i \min} + Z_{e \min} + T_i - 1$ $Z_{t \min} = Z_i - 1_{\min} = (350 + 350 + \sqrt{80^2 + 350^2})$ $= 1059 \text{ мм} = 1,059 \text{ мм}$ $A_{mn} = 26.48 + 1.054 + 0.52 = 28,059 \text{ мм}$	29,2 $\pm$ 1,1
2	010 020 010	Тор. 3 р-р 230 НЗ Точ. чорн.	$Z = \min = R_z + F + \sqrt{p^2 + E^2}$ $Z_i - 2_{\min} = 350 + 350 + \sqrt{80^2 + 350^2} = 1,05$	236,2 $\pm$ 18

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

	020 040	Точ. чорн. Точ. чорн.	$Z_{1\min} = 160 + 160 \sqrt{80^2 + 350^2} = 0,619_{\text{мм}}$ $A_{\min} = 229,28 + 2,641 + 2,46 = 234,391$	
3	010 040 040	Тор. 4 р-р 172 h3 Точ. н/ч Точ. чорн. Точ. тонк.	$A_{i\min} + Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{дод.}}$ $171,37 + 4,0 + 0,6 = 172,37$	172,37
4	040	Повер. 5 Ø 150 J 7	$149,972 - 4,0 = 145,572$	145,572
5	020	Тор. 8 р-р 27 Jj 14	$26,72 + 2,8 + 0,4 = 29,92$	
6	030	Пов. 4 135 J7	$134,972 - 4,0 - 0,3 = 130,672$	130,672
1	2	3	4	5
7	030	Тор. 12 р-р 174 h 13	$173,37 + 4,0 + 0,6 = 177,97$	177,97
8	030	Тор. 13 р-р 8 Jз 10	$7,71 + 2,0 + 0,2 = 9,91$	9,91
9	030	Пов. 15 р-р Ø298 H10	$297,79 + 3,0 + 0,4 = 302,19$	302,19

Таблиця 2.7 – Припуски і допуски на поверхні, що підлягають обробці по
ГОСТ 7505-84

Поверхня	Припуск, мм	Допуск, мм
29.9h9	2 · 2.0	±0.2
$21 \pm \frac{IT10}{2}$	2 · 0.3	±0.1
31H9	2 · 1.0	±0.2
97e7	2 · 1.3	±0.4
Ø109.8e7	2 · 2.0	±0.4
21.5	2 · 0.3	±0.1
14.9	0.5	±0.1

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

2.6. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення

При призначенні і розрахунку режимів різання враховують тип і розмір інструменту, матеріал його ріжучої частини, матеріал і стан заготовки, тип обладнання і його стан.

Розрахуємо режими різання на типові для даної деталі методи обробки [3].

1. Операція 005. Точіння зовнішнього діаметру Ø 371.

Інструмент – прохідний різець ВК8.

Глибина різання – $t = 2,0$ мм

Подача - $S = 0,8$ мм

Швидкість різання рахуємо за формулою:

$$V = C_v \cdot K_v / (T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}), \quad (2.18)$$

де $T = 60$ хв. – перехід стійкості інструмента;

$C_v = 215$ – сталь [3];

$X_v = 0,15$;

$Y_v = 0,45$;

$m = 0,20$ – показники степеню;

K_v – загальний поправний коефіцієнт, що рахуємо за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{\phi v} \cdot K_{\phi v} \cdot K_{rv} \cdot K_{gv} \cdot K_{ov}, \quad (2.19)$$

де K_{mv} - коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу, [3];

K_{nv} - коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу, [3];

$K_{\phi v}$ - коефіцієнт, що враховує головний кут в плані [3];

K_{rv} - коефіцієнт, що враховує допоміжний кут в плані;

K_{gv} - коефіцієнт, що враховує поперечний переріз державки;

K_{ov} - коефіцієнт, що враховує вид обробки.

$$K_v = (150/175)^{125} \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 0,93 \cdot 1,0 = 0,47$$

$$V = [215 / (60^{0,20} \cdot 2,0^{0,15} \cdot 0,8^{0,45})] \cdot 0,47 = 45,2 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання знаходимо за формулою:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$n = \frac{1000v}{\pi \cdot D}, \quad (2.20)$$

де $D = 371$ мм – діаметр поверхні, яку обробляють;

$$n = \frac{1000 \cdot 45,2}{3,14 \cdot 371} = 38,76 \text{ хв}^{-1}$$

Силу різання рахуємо за формулою:

$$P_z = C_{pt}^{x_p} \cdot S^{y_p} V^{z_p} \cdot V^{n_p} K_p, \quad (2.21)$$

де $C_p = 81$ – сталь [3] с. 262;

$X_p = 1,0$ – показник степеня [3];

$Y_p = 0,75$ – показник степеня [3];

$P_p = 0$ – показник степеня [3];

K_p – поправочний коефіцієнт, що рахується за формулою.

K_{mp} – коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей металу різця;

$K_{up}, K_{xp}, K_{lp}, K_{rp}$ – коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини різця [3].

$$K_p = \left(\frac{175}{150}\right)^{0,4} \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 1,09$$

$$P_z = 81 \cdot 2,0^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 45,16^0 \cdot 1,09 = 149,3 \text{ кЗ} = 1463,8 \text{ Н}$$

Потужність різання рахуємо за формулою:

$$N_{ppi} = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60}, \quad (2.22)$$

$$N_{ppi} = \frac{149,3 \cdot 45,16}{102 \cdot 60} = 1,1 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна верстату N_e , який ми проектуємо на дану операцію, повинна бути достатньою для того, щоб реалізувати дійсну потужність різання $N_{piz.}$, яку рахуємо за формулою [3].

$$N'_{piz} = N_{ppi} / \eta, \quad (2.23)$$

де $\eta = 0,8$ – коефіцієнт корисної дії

$$N'_{piz.} = 1,1 / 0,8 = 1,4 \text{ кВт}$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На дану операцію приймаю токарно-револьверний верстат моделі 1П37, потужність його електродвигуна рівна 5,8 кВт, що дозволяє говорити про те, що умова виконується. Отже, вибираємо верстат моделі 1П371.

2. Операція 040. Свердління дванадцяти отворів Ø14,1 мм на глибину 36 мм

Ріжучий інструмент – свердло із швидкорізальної сталі ВК6.

Приймаю стійкість свердла $T = 25$ хв машинного часу [3];

Глибина різання t рахується за формулою [3] с. 432;

$$t = D / Z, \quad (2.24)$$

де D – діаметр свердла

$$t = 14.1 / 2 = 7.05 \text{ мм}$$

Подачу рахуємо за формулою:

$$S_o = C' \cdot D^{0.6}, \quad (2.25)$$

де C' - 0,058 – сталь

$$S_o = 0,058 \cdot 14,1^{0.6} = 0,283 \text{ мм/об}$$

Приймаємо: $S_o = 0,25$ мм/об

Швидкість різання рахуємо за формулою:

$$V = CD^Z / (T^m t^x \cdot S_o^y H_B^H), \quad (2.26)$$

де $c = 11400$ – сталь;

$m = 0,125$; $x = 0$; $y = 0,40$; $n_1 = 1,3$ – показники степеня [3];

$Z = 0,25$ – показник степеня [3];

$HB175$ – твердість оброблюваного матеріалу за шкалою Бринеля [4];

$$V = \frac{11400 \cdot 14,1^{0.25}}{25^{0.125} \cdot 7,05^0 \cdot 0,25^{0.40} \cdot 175^{1.3}} = 31,38 \text{ м/хв}$$

Силу різання рахуємо за формулою:

$$P_x = C_1 D^{Z_1} S_o^{y_1} \cdot HB^n, \quad (2.27)$$

де $C_1 = 2,60$ – сталь

$Z^1 = 1,0$; $y^1 = 0,80$; $n = 0,6$ – показники степеня [3];

$$P_x = 2,60 \cdot 14,1^{1.0} \cdot 0,25^{0.80} \cdot 175^{0.6} = 292,62 \text{ кГ} = 2867,76 \text{ Н}$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Оскільки 12 отворів свердлимо одночасно, то сумарна сила різання буде рівна

$$P = 12P_x$$

$$P = 12 \cdot 2867,76 = 34412,4$$

Частина обертання рахується за формулою, попередньо вказаною

$$n = 1000b / ПД$$

$$n = 1000 \cdot 31,38 / (3,14 \cdot 14,1) = 678,5 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо $n = 640 \text{ хв}^{-1}$

Момент різання рахуємо за формулою:

$$M_{кр} = 10C_m D^2 S^y K_p, \quad (2.28)$$

де $C_m = 0,021$ – сталь;

$q = 2,0$; $y = 0,8$ – показники степеня;

$K_p = K_{mp}$ – поправочний коефіцієнт

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,021 \cdot 14,1^2 \cdot 0,25^{0,8} \cdot 1 = 15,2 \text{ Нмм}$$

Потужність різання рахуємо за формулою:

$$N = M_{кр} \cdot n / 9750, \quad (2.29)$$

$$N = 15,2 \cdot 640 / 9750 = 0,990 \text{ кВт}$$

Загальну потужність різання можна поррахувати згідно формули:

$$N_{за.} = K \cdot N, \quad (2.30)$$

де $K=12$ – кількість шпинделів свердлильної головки

$$N_{за.} = 12 \cdot 0,99 = 11,88 \text{ кВт}$$

При коефіцієнті корисної дії верстата разом з головою $\eta=0,85$, необхідна потужність електродвигуна рахується згідно формули:

$$N_{e-дв.} = N_{за.} / \eta$$

$$N_e = 11,88 / 0,85 = 14 \text{ кВт}$$

Приймаю на дану операцію радіально-свердлильний верстат моделі 2Е58, потужність його двигуна рівна 14кВт, отже потужність верстату використовується цілком.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Операція 045. Нарізання різі М16-6Н на глибину 30 мм у дванадцяти отворах
одночасно

Вибираємо – ріжучий інструмент-мітчик Р6М5.

Швидкість різання знаходимо за формулою:

$$V = \frac{C_v d^{g_v}}{T^m S^{y_v}} K_v, \quad (2.31)$$

де $C_v = 245,0$ – сталь;

T – період стійкості ріжучого інструмента, приймаємо T рівним 250 хв.;

$g_v = 0,5$; $y_v = 2,0$; $m = 1,0$ показники степеня;

K_v – поправочний коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{sv}, \quad (2.32)$$

де $K_{mv} = 1,7$; $K_{nv} = 1,0$; $K_{sv} = 1,0$ – коефіцієнти, що враховують оброблюваний і інструментальний матеріали і точність нарізуваної різі.

$$K_v = 1,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,7$$

$S = 2$ – клас нарізуваної різі;

$D = 14,1$ мм – діаметр отвору різь;

$$V = \frac{245,0 \cdot 14,1^{0,5}}{250^{1,0} \cdot 2^{2,0}} \cdot 1,7 = 0,49 \text{ м/хв}$$

Крутний момент знаходимо за формулою:

$$M = C_m D^{g_m} \cdot S^{y_m} K_p, \quad (2.33)$$

де $C_m = 0,0270$ – сталь

$g_m = 1,4$; $y_m = 1,5$ – показники степеня;

$K_p = 0,8$ – поправочний коефіцієнт

$$M = 0,270 \cdot 16^{1,4} \cdot 2^{1,5} \cdot 0,8 = 29,6 \text{ Нм}$$

Потужність розраховуємо за формулою:

$$N = M \cdot n / 9750, \quad (2.34)$$

де n – частота обертання шпінделя

$$n = \frac{1000v}{\text{ПД}}, \quad (2.35)$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$n = \frac{1000 \cdot 0,49}{3,14 \cdot 16} = 9,8 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо n рівною 10 хв^{-1}

$$N = 29,6 \cdot 10 / 9750 = 0,03 \text{ кВт}$$

Загальна потужність різання при одночасному нарізанні дванадцяти різей

$$N_{\text{за.}} = K \cdot N, \quad (2.36)$$

де $K=12$ – кількість шпинделів у головці, які одночасно працюють;

$$N_{\text{за.}} = 12 \cdot 0,03 = 0,36 \text{ кВт}$$

При коефіцієнті кожної дії верстата разом з головкою $\eta = 0,85$, необхідна потужність електродвигуна верстата визначається за формулою:

$$N_{\text{е-дв.}} = N_{\text{за.}} / \eta, \quad (2.37)$$

$$N_{\text{е-дв.}} = 0,36 / 0,85 = 0,45 \text{ кВт}$$

Отже, приймаємо на дану операцію радіально-свердлильний верстат моделі 2Е52 з потужністю електродвигуна рівною 2,2 кВт. Наступні режими різання знаходимо табличним методом і заносимо у таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 - Вибір режимів різання

№ опер.	Зміст переходу	Глибина різання, t мм	Подача, S мм/об	Швидкість різання, Vм/хв	Частота обертання, n хв ⁻¹	Сила різання, Р, Н	Потужність N різ. кВт	Верстат	
								модель	по-тужність кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005	Точ. чорнове пов. 1 Ø 371/114	2,8	1,0	72	75	2704,8	3,24	1ПЗ 71	5,8
010	Точ. тор. 2 пов. 2 р-р 27h 14	2,0	0,20	30	25	490	0,20	1ПЗ 71	5,8
015	Тор. 3 230 h 13 точ. чорнове	1,0	0,20	30	25	269,5	0,13	1ПЗ 71	5,8
	Точ. чорнове	0,9	0,4	94	40	269,5	0,19	1512	3,0
	Точ. чорнове	0,6	0,4	30	40	882	0,44	16А20Ø 3	10

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ				Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата					

020	Тор. Н р-р 172 h 13								
	Точ. чорнове	3,0	0,20	30	25	803,6	0,40	1ПЗ71	5,3
	Точ. н/чист.	1,0	0,18	30	63	217,5	0,11	16А20Ø 3	10
	Точ. чист.	0,6	0,12	35	80	184,29	0,11	16А20Ø 3	10
025	Пов. 5 Ø 150 I7								
	Розточ. чорн.	3,0	1,0	143	54	2704,8	2,4	1ПЗ71	5,8
	Розточ. тонка	1,0	0,18	103,5	200	269,5	0,46	16А20Ø 3	10
	Розточ. тонка	0,4	0,12	119,6	250	184,29	0,37	16А20Ø 3	10
030	Пов. 6 Ø 160 I14								
	Розточ.ч орн.	5,0	1,0	47,7	143	4508	3,6	1ПЗ71	5,8

035	Пов. 7 Ø 168 Ug								
	Розточ. чорн.	2,5	0,67	62,1	100	1842,4	1,9	1ПЗ71	5,8
	Розточ. н/чист.	1,0	0,195	103,5	143	269,5	0,47	16А20Ø 3	10
	Розточ. чист.	0,5	0,15	111,6	200	217,96	0,4	16А20Ø 3	10
040	Тор 827I14								
	Точ. чорн.	3	0,4	24	18	1362,2	0,55	1ПЗ71	5,8
	Пов. 10Ø3Н 5h14	5	2	35	40	6115,2	3,56	1ПЗ71	5,8
045	Пов. 11 Ø 135 I7								
	Розточ. чорн.	3	1,1	4,5	60	2900,8	2,17	1512	3,0
	Розточ. чист.	1	0,23	100,8	315	32026	0,54	16А20Ø 3	10
	Розточ. тонк.	0,5	0,12	111,6	400	88,2	0,16	16А20Ø 3	10

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ				Арк.
Зам.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

	Розточ. тонк.	0,4	0,12	111,6	400	88,2	0,16	16A20Ø 3	10
050	Тор. 12 174h/3								
	Точ. чорнове	4,5	0,71	65	100	3430	3,7	16A20Ø 3	10
055	Тор. 13 8 I ₃ 10								
	Розточ. чорн.	2,5	0,78	58,5	100	2058	2,0	16A20Ø3	10
060	Пов. 14 Ø 136 H11								
	Розточ. чорн.	0,3	0,78	58,5	100	588	0,57	16A20Ø3	10
	Розточ. тонке	0,9	0,15	111,6	250	176,4	0,33	16A20Ø3	10
065	Пов. 15 Ø 298 H10								

	Точ. чорн.	3,5	1,21	69	30	2900,8	2,8	16A20Ø3	10
070	Пов. Ø 20 H9	10	0,2	26	390	544,88	0,2	2E52	2,2
	10 отв.								
075	Отв. M ₁₀ H ₆								
	3 отв. свердл.	4	0,13	28	1060	1305,6	0,17	2E52	2,2
	Наріз різі	1	-	6	193	2219,5	0,04	2E52	2,2
080	50 отв. Ø6 Is 14	3	0,08	19,6	1060	100,4,3	0,19	2E52	2,2
	свердлі- ння								
085	12 отв. M ₁₆ H ₆								
	свердлі- ння	7,05	0,18	26	250	12654,0	13,9	258	14
	Наріз. різі	1	-	8	167	12226,4	13,5	258	14

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ				Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата					

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Кінематичний розрахунок приводу верстата.

Метою даного розрахунку є визначення ключових кінематичних параметрів, що характеризують роботу приводу верстата. За основу беруться основні технічні характеристики обладнання, які слугують вихідними даними.

Одним із визначальних аспектів кінематичної побудови приводу є вибір закону регулювання частоти обертання вихідної ланки. У виробничій практиці застосовують два основних способи регулювання частоти обертів: ступінчастий і безступінчастий. Безступінчасте регулювання забезпечує високу точність у виборі режимів різання, оскільки дозволяє плавно змінювати швидкість у широкому діапазоні. Проте реалізація таких систем є складною з технічної точки зору та вимагає значних матеріальних витрат. Відомі приклади таких приводів — електродвигуни постійного струму та варіатори — мають або обмежений робочий діапазон, або надмірну вартість. Ступінчасте регулювання є більш доступним і технологічно доцільним способом забезпечення змінної швидкості. Воно реалізується через набір фіксованих значень обертів, що дозволяє підтримувати режими різання з прийнятною точністю при зниженій складності конструкції.

Основним параметром при проектуванні системи ступеневого регулювання є закон зміни частоти обертання вихідної ланки. Найбільшого поширення набули такі варіанти: Геометричний ряд, при якому кожна наступна швидкість є добутком попередньої та постійного коефіцієнта. Такий підхід дозволяє рівномірно охопити увесь діапазон швидкостей; Арифметичний ряд, в якому наступне значення утворюється шляхом додавання постійного приросту. Цей варіант менш ефективний для широкого діапазону зміни обертів і тому застосовується рідше.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ					
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА			Лім	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Ткачук В.Ю.									
Перевір.	Сеник А.А.							Н		
Рецензен										
Н. контр.	Кобельник В.Р.							ТНТУ, гр. МВ-41		
Зав. каф.	Крупа В.В.									

3.1.1. Визначення граничних чисел обертів шпинделя і обґрунтування структурної формули приводу

Проаналізувавши фізико-механічні характеристики матеріалів та умов їх обробки після прорахування режимів різання зробили висновок, що мінімальна швидкість різання буде при обробці матеріалу – сірий чавун, а максимальна при обробці – сталі.

Мінімальну швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V_{min} = \frac{C_v}{T_{max}^m t_{max}^x S_{max}^y} K_{v\ max}, \text{ м/хв.} \quad (3.1)$$

де $C_v=243$; $x=0,15$; $y=0,14$; $m=0,20$ – коефіцієнт і показники степеня, [6 с.266 табл.17];

$T_{max}=60\text{хв}$ максимальне значення періоду стійкості інструменту, [6 с.268];

$t_{max}=8\text{мм}$ – максимальна глибина різання при чорновому точінні, що забезпечується верстатом;

$S_{max}=0,68\text{мм/об}$ – максимальна подача при чорновому точінні, [6 с.26 табл.11];

$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$ – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання;

$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v}$ – коефіцієнт, який враховує фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, [16 с.21 табл.1];

$HB=260$ – твердість чавуна [22 табл.86];

$n_v=1,25$ – показник степеня, [16 с.21 табл.2];

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{260} \right)^{1,25} = 0,68 ;$$

$K_{nv}=0,5$ – коефіцієнт, який враховує поверхневий стан заготовки, [16 с.23 табл.5];

$K_{uv}=1,0$ – коефіцієнт, який враховує матеріал інструмента, [1 с.26 табл.6];

$$K_v = 0,68 \cdot 0,5 \cdot 1,0 = 0,34 ;$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\min} = \frac{243}{60^{0,2} \cdot 8^{0,15} \cdot 0,68^{0,4}} \cdot 0,34 = 32,12 \text{ м/хв.}$$

Максимальна швидкість рівняння при чистовому точінні для сталі становить $V_{\max} = 300 \text{ м/хв}$, згідно [1 с.21 табл.19].

Визначаємо граничні частоти обертання шпинделя, за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв.} \quad (3.2)$$

де V – граничні швидкості обробки, м/хв ;

d – граничний діаметр оброблюваної деталі, мм ;

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 32,12}{3,14 \cdot 250} = 420 \text{ об/хв};$$

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 300}{3,14 \cdot 125} = 749 \text{ об/хв.}$$

Визначаємо діапазон регулювання:

$$R = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{749}{42} = 17. \quad (3.3)$$

Приймаємо знаменник ряду геометричної прогресії $\varphi = 1,06$.

Число ступеней визначаємо за формулою:

$$z = 1 + \frac{\lg R}{\lg \varphi} = 1 + \frac{\lg 17}{\lg 1,06} = 46. \quad (3.4)$$

Маючи число ступеней z , складаємо структурну формулу, яка подається у вигляді добутку:

$$z = P_{1(x_1)} \cdot P_{2(x_2)} \cdot P_{3(x_3)} \cdot \dots$$

де P_1, P_2, P_3 – число, яке вказує на кількість передач в кожній незалежній групі;

x_1, x_2, x_3 – характеристики відповідних незалежних груп.

$$z_{\phi} = 56 = 28_{(1)} \cdot 2_{(28)} - \text{фіктивне число ступеней};$$

$$z = 46 = 28_{(1)} \cdot 2_{(18)} = 2_{(18)} \cdot 28_{(1)}$$

Дана структурна формула є із змінними характеристиками. Її особливістю є накладання 10-х передач.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.2. Побудова структурної сітки і графіка чисел обертів.

Для побудови структурної сітки наносять кілька горизонтальних паралельних ліній з інтервалом по логарифмічній шкалі, кількість яких дорівнює числу ступенів зміни частоти обертання шпинделя z . Також проводять вертикальні лінії на довільній, але однаковій відстані одна від одної.

Кожній групі передач відводиться окреме поле між двома сусідніми вертикалями. На лівій межі цього поля (на першій вертикальній лінії) розміщують базову точку (0), яку розташовують симетрично відносно горизонталей.

Від цієї точки (0) проводять промені відповідно до кількості передач у даній групі. Відстань між променями відповідає характеристиці групи передач, тобто передавальним числам або їх логарифмічному поданню.

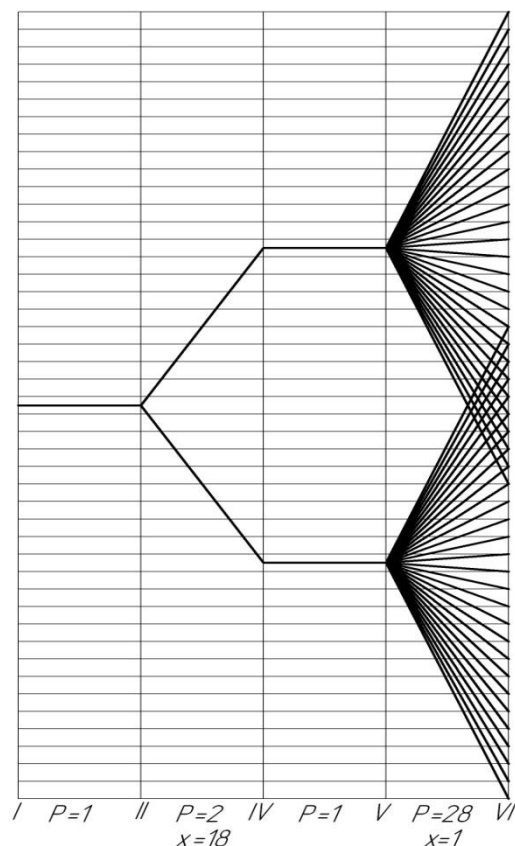


Рисунок 3.1– Структурна сітка для коробки швидкостей $z=2 \cdot 28$

Графік чисел обертів будується у відповідності з кінематичною схемою привода, кожному валу привода відповідає вертикальна пряма на графіку. На горизонтальних прямих з рівними інтервалами отримаємо числа обертів, які відповідають даному валу. Наявність передачі включеної при визначених числах обертів ведучого і веденого валів виражається на графіку променем, що з'єднає відмітки таких самих обертів на лініях валів.

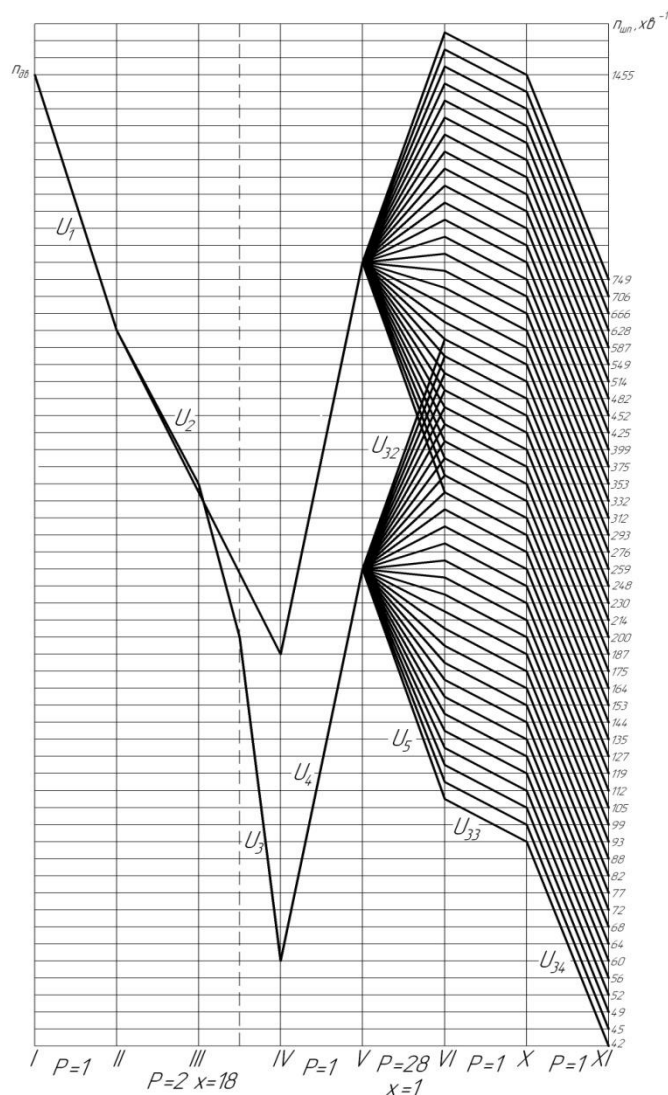


Рисунок 3.2 – Графік чисел обертів.

Враховуючи значення граничних передаточних відношень будуюмо ланцюг передач для пониження числа обертів від $n_{\partial 6}=1455 \text{ об/хв}$ до $n_{\max}=749 \text{ об/хв}$ до $n_{\min}=42 \text{ об/хв}$.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ

Арк.

Визначаємо допустимі проценти відхилення чисел обертів шпинделя:

$$A = 10(\varphi - 1)\% = 10(1,06 - 1)\% = 0,6\%.$$

Розрахункове відхилення обертів шпинделя не перевищує допустимого відхилення, тому передача обертів від двигуна на вал I відбувається безпосередньо через муфту.

Маючи графік чисел обертів викреслюємо кінематичну схему приводу (рис.3.3), який реалізує даний графік. Складання кінематичної схеми дозволяє в першому наближенні вибрати розташування груп рухомих и нерухомих коліс, а також скласти першу уяву про можливу компоновку приводу.

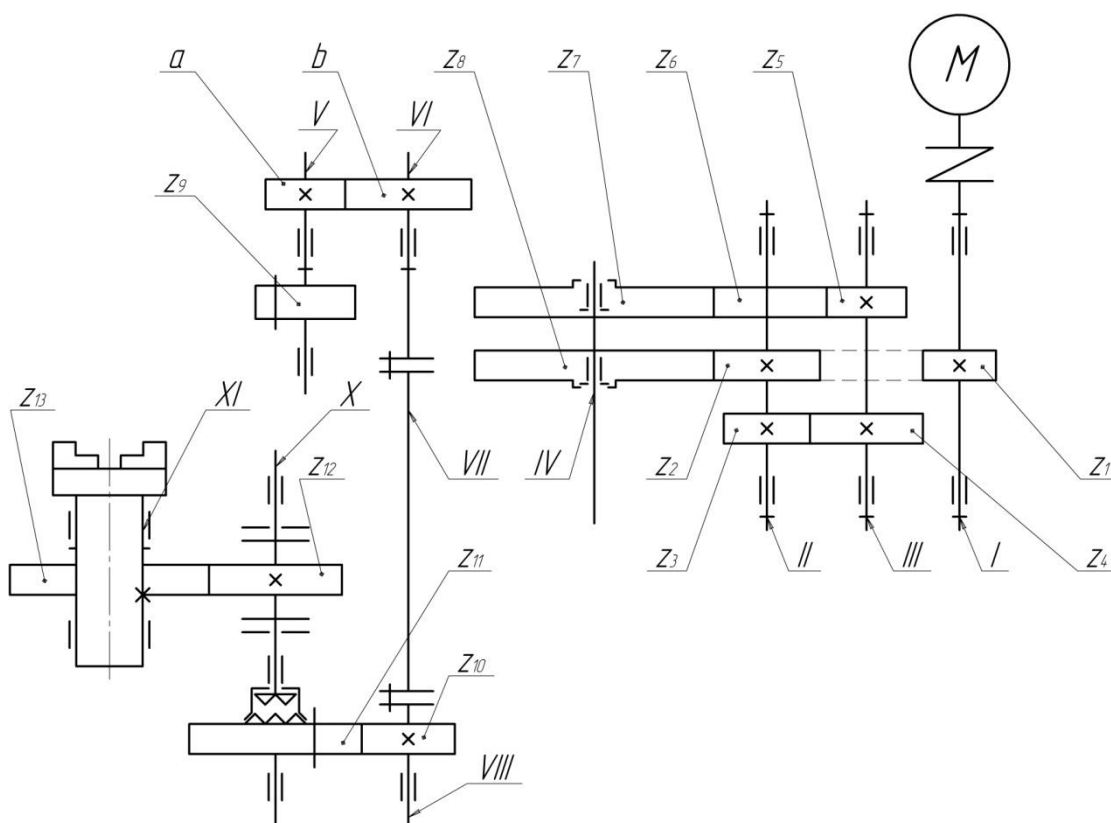


Рисунок 3.3 – Кінематична схема приводу.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Опис конструкції і принципу роботи вузла

Шпиндельний стіл 1, служить для переміщення шпинделів з закріпленими заготовками із позиції в позицію, являє собою жорсткий відливок, в якому верхня і нижня полка з'єднані центральною частиною і радіальними ребрами, які розділяють стіл на вісім однакових секторів позицій. Верхня полична має нахил, призначений для відведення стружки. Припіднята центральна частина використовується для закріплення підшипників.

На кожній позиції стола змонтована шпиндельна група, на нижній площині – планка 36 з радіальним пазом для ролика механізму повороту. Масло, яке потрапляє через стик з колоною в радіальний отвір стола, подається потім в канали, виконаних в планці 36 і від них підводиться за допомогою шлангів до шпинделів. В радіальних отворах на периферії нижньої полки запресовані стопори 41 для фіксації стола.

Перед шпиндельний вал 30 приводиться в рух розміщеним під ним синхронізатором в результаті зубчастої півмуфти 2, закріпленої на шліцевому кінці вала байонетним кільцем 3, яке фіксується після повороту підпружиненим пальцем. В отворі вала встановлена тяга 4, яка втримується за допомогою штифта 56, який проходить через її паз. На різьбовому кінці тяги закріплена конічна чашка 5, яка опускається за допомогою пружини 44. Момент тертя прикладений до чашки синхронізатором, передається його шпицями, розташованих в пазах півмуфти 2. Колесо 29 входить в зачеплення з шпиндельним колесом 1, встановленого на шпинделі 22.

Принцип поетапної дії дійсно вимагає розміщення всіх шпинделів на одній відстані від осі обертання стола при рівності відстаней між ними по хорді. При розташуванні верстатів повинна бути витримана паралельність осей шпинделя і напрямних колони. Верхня опора шпинделя – два конічних

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роликових підшипника, розміщених в стакані 26. Для захисту опор від проникання бруду служить кільце 21, на внутрішній поверхні якого виконана спіральна канавка, яка викидає емульсію при обертанні. Змащувальне масло втримується фланцем 23 з маслзбірною канавкою. Кульковий підшипник нижніх опор встановлені в стакані 9 та фіксується болтами. Один із кріпильних болтів 37 верстата має видовжену головку і служить для блокування стола при вимкненому фіксаторі.

В отвір шпинделя вмонтований здвоєний гідроциліндр приводу затискного пристосування і гідроколектор, призначений для подачі мастила на обертаючийся циліндр. Корпус колектора 11 закріплений на шпинделі байонетним методом і зафіксований штифтом 53. В корпусі із малим зазором встановлений на підшипниках кочення вал 21 колектора, який зафіксований планкою 8. Гідроциліндри утворені двома гільзами 13, перетинкою 16 і фланцем 17, в середини яких встановлений вал 25 з поршнями 13. Вал втримується від обертання пальцем 18. На різьбовому кінці вала закріплена тяга 24, з якою з'єднується затискне пристосування. Ущільнення стола по емульсійного кільцю здійснене фетровими ущільнювачами 32 і закривається кришкою 33. Для очищення жолоба емульсійного кільця використовується шкребок 34.

Мастило для змащування із кільцевої канавки на конічній поверхні колони нагнітається в радіальні канали стола і по них на верхню опору передшпиндльного вузла, те частково протікає через щілину в торці шайби 27. Основна частина мастила по зазору навколо шайби і вертикальному каналу подається на стакан 26 і потім – в верхню частину опори. гвинтовий дросель 20 дозволяє регулювати потік масла. На точність обробки впливає радіальний зазор між конічними поверхнями стола і колоною. Зазор виміряється щупом і повинен знаходитися в гарницях 0,03-0,04мм. При великому зазорі

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшується точність обробки, при малому – можливе защемлення стола при температурних деформаціях. величину зазору регулюють за допомогою компенсаційних планок упорного підшипника стола.

Для безударного вмикання синхронізаторів конічні чашки 5 на рівній висоті. Регулювання роблять в проміжному проложені стола. Після вимірювання відстані нижніх торців чашок від площини стола за допомогою домкрата нажимають на торець вала 4, демонтують штифт 56, і опустивши чашку регулюють її положення на різьбовому кінці цього валу і потім монтують назад. Натяг підшипників верхньої опори шпинделя регулюють корончатою гайкою, яку фіксують болтом, встановленим в одне із різьбових отворів, виконаних на шпинделі. Натяг опор передшпиндельного вала здійснюють гайкою 38.

3.3 Загальний силовий розрахунок.

Визначення передаточних відношень і чисел зубів коліс зубчастих механізмів

По графіку чисел обертів легко визначити передаточні відношення окремих пар зубчастих коліс. Для понижуючих передач передаточне відношення становить $U = \frac{1}{\varphi^x}$, де x – число клітинок структурного поля, на яке опускається промінь відповідної передачі. Для прискорюючих передач $U = \varphi^x$, де x – число клітинок, на яке піднявся відповідний промінь.

Передаточні відношення заокруглюємо до 6-го знаку після коми, це необхідно для того що підібрати числа зубів зубчастих коліс. Отже передаточні відношення становлять:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_1 = \frac{1}{\varphi^{15}} = \frac{1}{1,06^{15}} = 0,410256;$$

$$U_2 = \frac{1}{\varphi^9} = \frac{1}{1,06^9} = 0,564100;$$

$$U_3 = \frac{1}{\varphi^{19}} = \frac{1}{1,06^{19}} = 0,330508;$$

$$U_4 = \varphi^{23} = 1,06^{23} = 3,80645;$$

$$U_5 = \frac{1}{\varphi^{13,5}} = \frac{1}{1,06^{13,5}} = 0,413043;$$

$$U_6 = \frac{1}{\varphi^{12,5}} = \frac{1}{1,06^{12,5}} = 0,444444;$$

$$U_7 = \frac{1}{\varphi^{11,5}} = \frac{1}{1,06^{11,5}} = 0,477272;$$

$$U_8 = \frac{1}{\varphi^{10,5}} = \frac{1}{1,06^{10,5}} = 511627;$$

$$U_9 = \frac{1}{\varphi^{9,5}} = \frac{1}{1,06^{9,5}} = 0,547619;$$

$$U_{10} = \frac{1}{\varphi^{8,5}} = \frac{1}{1,06^{8,5}} = 0,585366;$$

$$U_{11} = \frac{1}{\varphi^{7,5}} = \frac{1}{1,06^{7,5}} = 0,625000;$$

$$U_{12} = \frac{1}{\varphi^{6,5}} = \frac{1}{1,06^{6,5}} = 0,666667;$$

$$U_{13} = \frac{1}{\varphi^{5,5}} = \frac{1}{1,06^{5,5}} = 0,710526;$$

$$U_{14} = \frac{1}{\varphi^{4,5}} = \frac{1}{1,06^{4,5}} = 0,756758;$$

$$U_{15} = \frac{1}{\varphi^{3,5}} = \frac{1}{1,06^{3,5}} = 0,805556;$$

$$U_{16} = \frac{1}{\varphi^{2,5}} = \frac{1}{1,06^{2,5}} = 0,857143;$$

$$U_{17} = \frac{1}{\varphi^{1,5}} = \frac{1}{1,06^{1,5}} = 0,918647;$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{18} = \frac{1}{\varphi^{0,5}} = \frac{1}{1,06^{0,5}} = 0,96969;$$

$$U_{19} = \varphi^{0,5} = 1,06^{0,5} = 1,031250;$$

$$U_{20} = \varphi^{1,5} = 1,06^{1,5} = 1,096774;$$

$$U_{21} = \varphi^{2,5} = 1,06^{0,5} = 1,166667;$$

$$U_{22} = \varphi^{3,5} = 1,06^{3,5} = 1,241379;$$

$$U_{23} = \varphi^{4,5} = 1,06^{4,5} = 1,321428;$$

$$U_{24} = \varphi^{5,5} = 1,06^{5,5} = 1,407408;$$

$$U_{25} = \varphi^{6,5} = 1,06^{6,5} = 1,500000;$$

$$U_{26} = \varphi^{7,5} = 1,06^{7,5} = 1,600000;$$

$$U_{27} = \varphi^{8,5} = 1,06^{8,5} = 1,708333;$$

$$U_{28} = \varphi^{9,5} = 1,06^{9,5} = 1,1826070;$$

$$U_{29} = \varphi^{10,5} = 1,06^{10,5} = 1,954545;$$

$$U_{30} = \varphi^{11,5} = 1,06^{11,5} = 1,095238;$$

$$U_{31} = \varphi^{12,5} = 1,06^{12,5} = 2,250000;$$

$$U_{32} = \varphi^{13,5} = 1,06^{13,5} = 2,421053;$$

$$U_{33} = \frac{1}{\varphi^{2,5}} = \frac{1}{1,06^{2,5}} = 0,875000;$$

$$U_{34} = \frac{1}{\varphi^{12}} = \frac{1}{1,06^{12}} = 0,474576.$$

Керуючись рекомендаціями [10 с.5] для обчислених передаточних відношень, а також отриманої кінематичної схеми приводу (рис.3.3), вибираємо наступні числа зубів:

- для $U_1=0,410256$ згідно [10 с.138] $z_1=16$, $z_2=39$;

- для $U_2=0,564100$ згідно [10с.215] $z_3=22$, $z_4=39$;

- $U_3 = \frac{z_6}{z_7} = 0,330508$, $z_6 = z_4=39$ тоді $z_7 = \frac{z_6}{U_3} = \frac{39}{0,330508} = 118$;

- $U_4 = \frac{z_8}{z_9} = 3,806450$, $z_8 = z_7=118$ тоді $z_9 = \frac{z_8}{U_4} = \frac{118}{3,806450} = 31$;

- для $U_5=0,413043$ згідно [10 с.140] $a_1=19$, $b_1=46$;

- для $U_6=0,444444$ згідно [10 с.155] $a_2=20$, $b_2=45$;

- для $U_7=0,477272$ згідно [10 с.172] $a_3=21$, $b_3=44$;

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для $U_8=0,511627$ згідно [10 с.189] $a_4=22, b_4=43$;
- для $U_9=0,547619$ згідно [10 с.207] $a_5=23, b_5=42$;
- для $U_{10}=0,585366$ згідно [10 с.225] $a_6=24, b_6=41$;
- для $U_{11}=0,625000$ згідно [10 с.244] $a_7=25, b_7=40$;
- для $U_{12}=0,666667$ згідно [10 с.262] $a_8=26, b_8=39$;
- для $U_{13}=0,710526$ згідно [10 с.281] $a_9=27, b_9=38$;
- для $U_{14}=0,756758$ згідно [10 с.302] $a_{10}=28, b_{10}=37$;
- для $U_{15}=0,805556$ згідно [10 с.323] $a_{11}=29, b_{11}=36$;
- для $U_{16}=0,857143$ згідно [10 с.345] $a_{12}=30, b_{12}=35$;
- для $U_{17}=0,917647$ згідно [10 с.369] $a_{13}=31, b_{13}=34$;
- для $U_{18}=0,969697$ згідно [10 с.388] $a_{14}=32, b_{14}=33$;
- для $U_{19}...U_{32}$ a і b приймаємо такіж як для $U_5...U_{18}$ тільки у зворотньому порядку, тобто $a_{15}=b_{14}=33, b_{15}=a_{14}=32$ і т.д.;
- для $U_{33}=0,875000$ згідно [10 с.352] $z_{10}=35, z_{11}=40$;
- для $U_{34}=0,474576$ згідно [10 с.271] $z_{12}=28, z_{13}=59$.

- Визначення потужності приводу верстата і електродвигуна

Визначення потужності різання приводів головного руху та руху подач проводиться на основі даних про величини складових сил різання для найбільш навантаженого режиму роботи.

Визначаємо ефективну потужність, тобто потужність яка необхідна для здійснення процесу різання за формулою:

$$N_{ef} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} + \frac{P_x \cdot S \cdot n}{60 \cdot 1020 \cdot 1000}, \text{ кВт} \quad (3.5)$$

де P_z і P_x – складові сили різання, H ;

$V=32,12 \text{ м/хв}$ – швидкість різання;

$S=0,68 \text{ мм/об}$ – подача;

$n=420 \text{ об/хв}$ – число обертів шпинделя.

Визначаємо сили різання:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{z,x} = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P, H \quad (3.6)$$

де C_P, x, y, n – коефіцієнт і показники степені;

$t = 8 \text{ мм}$ – глибина різання;

K_P – поправочний коефіцієнт, який враховує фактичні умови різання:

$$\hat{E}_D = \hat{E}_{iD} \cdot \hat{E}_{\varphi D} \cdot \hat{E}_{\gamma D} \cdot \hat{E}_{\lambda D} \cdot \hat{E}_{rD} \quad (3.7)$$

де $\hat{E}_{iD}$ – коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силовий фактор [6 с.264], табл.9.

$$K_{MP} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n \quad (3.8)$$

$$K_{MP} = \left(\frac{260}{190} \right)^{0,4} = 1,34.$$

$\hat{E}_{\varphi D} = 1,08$, $\hat{E}_{\gamma D} = 1,25$, $\hat{E}_{\lambda D} = 1,0$ – поправочні коефіцієнти, які враховують геомергію рзальної частини різця, [6 с.27], табл.23;

$$K_P = 1,34 \cdot 1,00 \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 1,81;$$

$C_P = 92$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = 0$ [6] С.273, табл.22;

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 8^1 \cdot 0,68^{0,75} \cdot 32,12^0 \cdot 1,81 = 9991,2 H;$$

$C_P = 46$; $x = 1,0$; $y = 0,4$; $n = 0$ [6] С.273, табл.22;

$$P_x = 10 \cdot 46 \cdot 8^1 \cdot 0,68^{0,4} \cdot 32,12^0 \cdot 1,81 = 5708,6 H;$$

$$N_{ef} = \frac{9991,2 \cdot 32,12}{60 \cdot 1020} + \frac{5708,6 \cdot 0,68 \cdot 42}{60 \cdot 1020 \cdot 1000} = 5,4 \text{ кВт}.$$

За ефективною потужністю різання та коефіцієнтом корисної дії верстата вибираю електродвигун:

$$N_{ов} = \frac{N_{ef}}{\eta}, \text{ кВт} \quad (3.9)$$

де η – к.к.д. верстата.

$$\eta = \frac{\eta_{розр.}}{1 + \frac{N_{x.x.}}{N_{ef}} \cdot \eta_{розр.}},$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\eta_{розр.}$ – розрахунковий (умовний) коефіцієнт корисної дії верстата.

$$\eta_{розр.} = \eta_{підш.}^{a_1} \cdot \eta_{з.п.}^{a_2} \cdot \kappa_{под.},$$

де $\eta_{підш.}=0,997 \div 0,998$ – к.к.д. підшипників, приймаю $\eta_{підш.}=0,998$, [12 с.60, табл. 11];

$\eta_{з.п.}=0,99$ – к.к.д. зубчастої передачі, [11 с.60 табл. 11];

$\kappa_{под.}=0,96$ – коефіцієнт, який враховує втрати потужності у приводі подач, [11 с.60];

a_1, a_2 – кількість типових передач і пар підшипників кочення коробки швидкостей.

$$\eta_{розр.} = 0,998^{17} \cdot 0,99^8 \cdot 0,96 = 0,86.$$

Втрати потужності на холостому ходу визначаємо за формулою:

$$N_{x.x.} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot d_{cp} \left(n_I + n_{II} + \dots + c \frac{d_{ун}}{d_{cp}} n_{ун} \right), \quad (3.10)$$

де $d_{cp}=72\text{мм}$ – середнє арифметичне всіх опорних шийок валів коробки швидкостей верстата;

$d_{ун}=120\text{мм}$ – середнє арифметичне значення діаметрів опорних шийок шпинделя;

$c=1,5$ – коефіцієнт який враховує вид опор шпинделя, [11 с.60];

$n_I, n_{II}, n_{III} \dots n_{ун}$ – частоти обертання валів коробки швидкостей і шпинделя, на тій ступені, на якій розраховується N_{ef} .

$$N_{x.x.} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 72 \cdot \left(1455 + 628 + 353 + 200 + 60 + 259 + 109 + 93 + 1,5 \cdot \frac{120}{72} \cdot 42 \right) = 0,94 \text{ кВт}.$$

Знаходимо необхідну потужність електродвигуна за формулою:

$$N_{дв} = \frac{N_{ef}}{\eta} + N_{x.x.}, \text{ кВт} \quad (3.11)$$

$$N_{дв} = \frac{5,4}{0,86} + 0,94 = 7,52 \text{ кВт}.$$

Оскільки верстат 1K282 є 8-ми шпиндельним і 7 з яких є робочими, тоді загальна потужність електродвигуна буде становити:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{заг.дв.}} = 7N_{\text{дв}} = 7 \cdot 7,52 = 52,62 \text{ кВт}.$$

За знайденим значенням потужності $N_{\text{заг.дв.}} = 52,62 \text{ кВт}$ вибираємо електродвигун найближчої потужністю серії 5A225M4 $N_{\text{дв}} = 7,52 \text{ кВт}$.

- Визначення розрахункових обертових моментів

Значення розрахункових обертових моментів на валах приводів приводів верстатів необхідні для розрахунку на міцність і довговічність передач, валів та підшипників.

Розрахунковий обертовий момент на будь якому валу визначаємо за формулою:

$$T = 9550 \frac{N_{\text{дв}} \cdot \eta}{n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.12)$$

$N_{\text{дв}}$ – номінальна потужність двигуна, кВт;

η – к.к.д. механізму від електродвигуна до розглядуваного вала;

n – частота обертання вала, об/хв.

Розрахунок моментів проводимо для найбільш навантаженого режиму роботи при $n_{\text{шт}} = 42 \text{ об/хв}$, тобто:

$$T_I = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,998}{1455} = 51,47 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{II} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,986}{628} = 117,38 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{III} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,974}{353} = 207,04 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{II_{\text{пр.}}} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,962}{200} = 360,92 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{IV} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,951}{60} = 1189,04 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_V = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,94}{259} = 272,33 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{VI_1} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,927}{109} = 638,15 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{IX_1} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,903}{93} = 728,57 H \cdot m;$$

$$T_{XI_1} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,89}{42} = 1590,04 H \cdot m.$$

Розрахунок моментів проводимо для швидкісного режиму роботи при $n_{un}=749 \text{ об/хв}$, тобто:

$$T_I = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,998}{1455} = 51,47 H \cdot m;$$

$$T_{II} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,986}{628} = 117,38 H \cdot m;$$

$$T_{IV} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,974}{187} = 390,97 H \cdot m;$$

$$T_V = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,959}{794} = 90,66 H \cdot m;$$

$$T_{VI_{46}} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,943}{1683} = 42,0615 H \cdot m;$$

$$T_{IX_{46}} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,928}{1455} = 47,88 H \cdot m;$$

$$T_{XI_{46}} = 9550 \cdot \frac{7,86 \cdot 0,914}{749} = 91,6 H \cdot m.$$

- Вибір матеріалу коліс

Згідно [12 с.49, табл. 3.1] визначаємо марку сталь 40Х.

Згідно [12 с.50 табл. 3.2] визначаємо механічні характеристики сталі 40Х:

- 269...302НВ;
- термообробка – покращення;
- $\sigma_s=890 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_m=650 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_{-1}=380 \text{ Н/мм}^2$.

Визначаю допустимі контактні напруження:

(3.13)

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[\sigma]_H = 1,8 \cdot HB_{max} + 67 = 1,8 \cdot 302 + 67 = 610,6 \text{ Н / мм}^2.$$

Визначаємо допустимі напруження згину:

$$[\sigma]_F = 1,03 \cdot HB_{max} = 1,03 \cdot 302 = 311,06 \text{ Н / мм}^2. \quad (3.14)$$

- Визначення міжосьової відстані

Проектний розрахунок передач проводимо згідно [12 с.58-61].

Міжосьову відстань циліндричної шевронної передачі визначаю за формулою:

$$a_w \geq K_a \cdot (u + 1) \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot 10^3}{\Psi_a \cdot u^2 \cdot [\sigma]_H^2} \cdot K_{H\beta}}, \text{ мм} \quad (3.15)$$

де K_a – допоміжний коефіцієнт, для циліндричної передачі приймаю $K_a = 43$.

$u = 0,47$ – передаточне число зубчастої пари;

$T_2 = T_{X_{I_1}} = 1590,04 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – максимальний обертовий момент;

Ψ_a – коефіцієнт ширини вінця колеса, приймаю $\Psi_a = 0,28$;

$[\sigma]_H^2$ – допустиме контактне напруження колеса з менш міцним зубом, Н/мм^2 ;

$K_{H\beta}$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження по довжині зуба, приймаю $K_{H\beta} = 1$.

$$a_w = 43 \cdot (0,47 + 1) \sqrt[3]{\frac{1590,04 \cdot 10^3}{0,28 \cdot 0,47^2 \cdot (610,6)^2} \cdot 1} = 201,96 \text{ мм}.$$

Приймаємо згідно стандартного ряду [12 с.312] табл.13.35 $a_w = 200 \text{ мм}$.

Модуль зачеплення визначаю за формулою:

$$m \geq \frac{2 \cdot K_m \cdot T_2 \cdot 10^3}{d_2 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_F}, \text{ мм} \quad (3.16)$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K_m – допоміжний коефіцієнт, для циліндричної передачі приймаю
 $K_m = 6,8$;

d_2 – ділительний діаметр колеса, мм;

b_2 – ширина вінця колеса, мм;

$[\sigma]_F$ – допустиме напруження згину для колеса з менш міцним зубом,
Н/мм².

Ділительний діаметр колеса визначаю за формулою:

$$d_2 = 2 \frac{a_w \cdot u}{(u + 1)} \quad (3.18)$$

$$d_2 = 2 \cdot \frac{200 \cdot 0,47}{0,47 + 1} = 135 \text{ мм.}$$

Ширину вінця колеса визначаю за формулою:

$$b_2 = \Psi_a \cdot a_w, \text{ мм} \quad (3.19)$$

$$b_2 = \Psi_a \cdot a_w = 0,28 \cdot 135 \approx 38 \text{ мм.}$$

Тоді,
$$m = \frac{2 \cdot 6,8 \cdot 1590,04 \cdot 10^3}{134,5 \cdot 38 \cdot 311,06} = 4,42 \text{ мм}$$

Отримане значення модуля зачеплення заокруглюю в більшу сторону
згідно стандартного ряду [12 с.59], отже $m = 4,5 \text{ мм}$.

- Визначення мінімально допустимих міжцентрових відстаней валів

$$a_w = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m, \text{ мм} \quad (3.20)$$

Між I-м і II-м валом:

$$a_{w1} = \frac{16 + 39}{2} \cdot 4,5 = 124 \text{ мм.}$$

Між II-м і III-м валом:

$$a_{w2} = \frac{22 + 39}{2} \cdot 4,5 = 137 \text{ мм.}$$

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Між II-м і IV-м валом: $a_{w3} = \frac{39+118}{2} \cdot 4,5 = 353\text{мм.}$

Між IV-м і V-м валом: $a_{w4} = \frac{118+31}{2} \cdot 4,5 = 335\text{мм.}$

Між V-м і VI-м валом: $a_{w5} = \frac{a+b}{2} \cdot 4,5 = \frac{65}{2} \cdot 4,5 = 146\text{мм.}$

Між VIII-м і IX-м валом: $a_{w6} = \frac{35+40}{2} \cdot 4,5 = 169\text{мм.}$

Між X-м і XI-м валом: $a_{w7} = \frac{28+59}{2} \cdot 4,5 = 200\text{мм.}$

3.4. Розрахунок та конструювання шпиндельного вузла

При проектуванні шпинделя потрібно забезпечити:

1. Жорсткість, необхідну для уникнення недопустимих деформацій в процесі різання;
2. Стабільність положення геометричної осі при обертанні (точність обертання і вібростійкість;
3. Зносостійкість шийок, посадочних і базових поверхонь;

Забезпечення цих вимог в значній мірі залежить від вибору матеріалу і режиму термообробки. Вибір марки матеріалу шпинделя диктується точністю верстатів і типом підшипників. Конструктивні форми шпинделя визначаються:

- типом і призначенням верстату;
- вимогами точності;
- умовами роботи шпинделя;
- способом зміни інструменту або загтовки;
- розташуванням і типом привідних елементів;
- типом підшипників і їх конструкцією.

Конструктивно шпиндель повинен бути по можливості простим з мінімальною кількістю переходів, шпонок, і різей в між опорній частині.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Радіальна жорсткість шпинделя в усіх напрямках повинна бути однаковою, що є надзвичайно важливо.

Розрахунок проводимо згідно [13]. Згідно рекомендацій [13] приймаємо 2 схему опор. Передня опора в вигляді двох роликів конічних однорядних підшипників особливо легкої серії типу 2007128 і задня опора – кульковий однорядний підшипник особливо легкої серії типу 124. Відстань між опорами $l=320\text{мм}$, довжина консолі $c=125\text{мм}$; відстань від передньої опори до зубчастого колеса $b=115\text{мм}$; шпиндель пустотілий – середнє відношення $\beta=0,4$.

Конструктивна схема та розрахункова схема шпиндельного вузла буде мати вигляд:

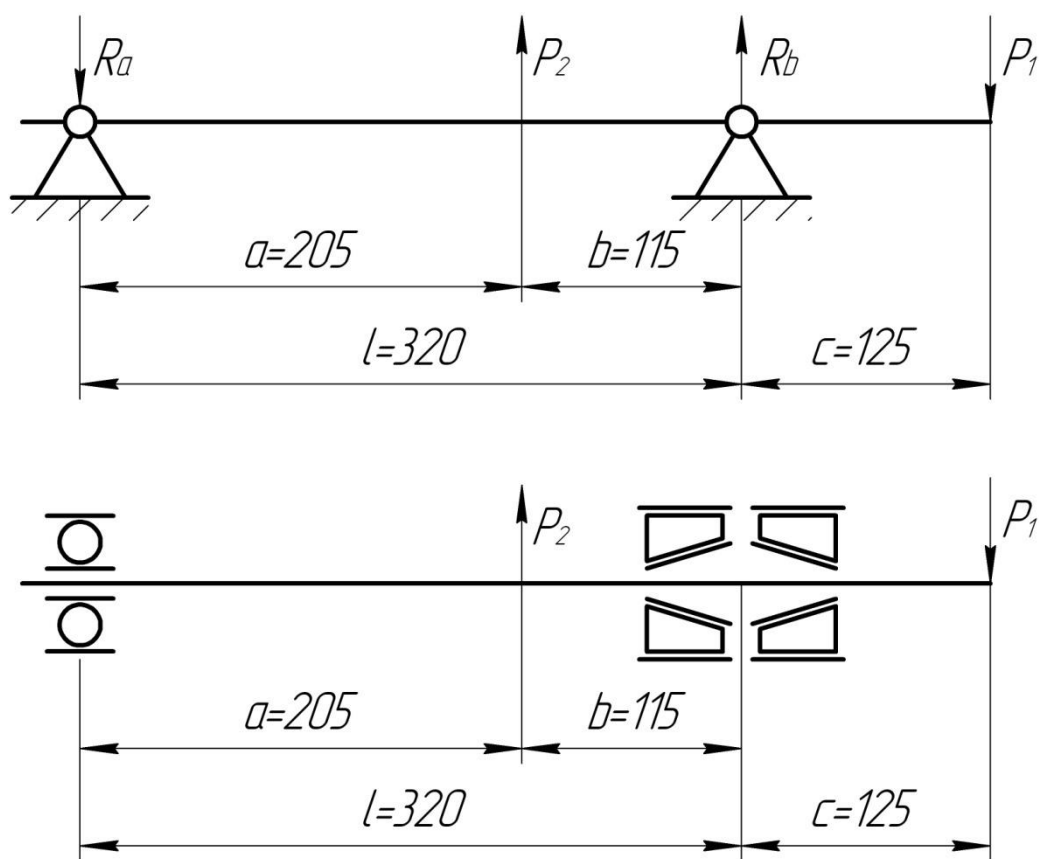


Рисунок 3.4. – Конструктивна та розрахункова схема шпиндельного вузла.

Згідно прийнятої розрахункової схеми стріла прогину робочого кінця шпинделя визначається за формулою:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y = \frac{P_1 \cdot c^3}{3EI} = \frac{P_1 \cdot c^3}{3E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64} (1 - \beta^4)} \leq [y], \text{мм} \quad (3.21)$$

де P_1 – максимальне значення рівнодійної складових сил P_z і P_y , H ;

E – модуль пружності матеріалу шпинделя, $E=2 \cdot 10^5 \text{МПа}$;

I – момент інерції січення шпинделя в передній опорі, мм^4 .

З формули отримаємо:

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot P_1 \cdot c^3}{3E \cdot \pi \cdot (1 - \beta^4) \cdot [y]}}, \text{мм} \quad (3.22)$$

$$P_1 = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} = \sqrt{P_z^2 + (0,5P_y)^2} = \sqrt{9991,2^2 + (0,5 \cdot 9991,2)^2} = 11170,5H ;$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 11170,5 \cdot 125^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot (1 - 0,4^4) \cdot 8 \cdot 10^{-3}}} = 97,55 \text{мм}$$

З метою уточнення діаметральних параметрів шпинделя визначимо середній діаметр міжопорної частини шпинделя з умови забезпечення нормальних умов роботи підшипників кочення за формулою:

$$D_H = \frac{K_{np}^3 \cdot j_{np}}{500 \cdot (1 - \beta^4)}, \text{мм} \quad (3.23)$$

де j_{np} – жорсткість міжопорної частини шпинделя, $j_{np}=250 \div 500 \text{Н/мкм}$;

K_{np} – коефіцієнт, що враховує відношення довжини до діаметра між опорної частини шпинделя.

$$D_H = \frac{3,33^3 \cdot 500}{500 \cdot (1 - 0,4^4)} = 37,9 \text{мм}.$$

Оскільки середній діаметр шпинделя визначений по другій умові менший, приймаємо діаметр консольної частини шпинделя, врахувавши особливості даного верстата, рівним 290мм, діаметр міжопорної частини 70мм.

На основі ескізної компоновки шпиндельного вузла уточнюємо діаметри шийок шпинделя під підшипники, а також його осьові габарити. В нашому випадку приймаємо:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– для передньої опори – підшипник 2007128: $d=140\text{мм}$; $D=210\text{мм}$;
 $T=45,5\text{мм}$; $C=245000\text{Н}$; $n=1600\div 1900\text{об/хв}$;

– для задньої опори – підшипник 124: $d=120\text{мм}$; $D=180\text{мм}$; $B=28\text{мм}$;
 $C=85200\text{Н}$; $n=2400\div 3000\text{об/хв}$.

Довговічність підшипника в годинах:

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^m, \text{ год} \quad (3.24)$$

де n – розрахункова частота обертання;

C – коефіцієнт працездатності (динамічна вантажопідйомність);

P – еквівалентне динамічне навантаження;

m – коефіцієнт, що враховує форму тіл кочення, для кулькових $m=3$,
 для роликових $m=3,33$ [12 с.128].

Для визначення приведенного навантаження P знаходимо реакції в
 опорах A і B :

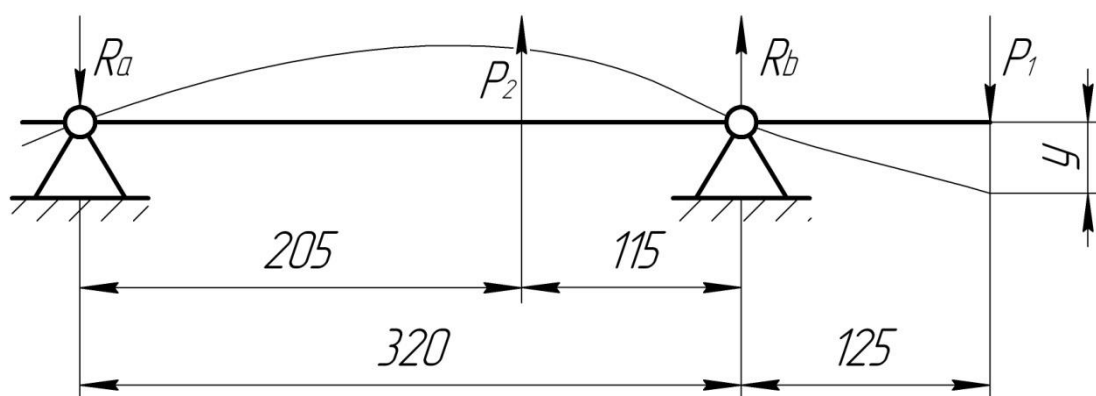


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема.

P_2 – радіальна сила, що виникає на привідному зубчастому колесі,
 середній діаметр якого 265мм . Визначимо її через колову силу $F_t=12000,3\text{Н}$.

$$P_2 = F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha = 12000,3 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 4367,75\text{Н}.$$

Визначимо опорні реакції .

Запишемо рівняння рівноваги плоскої система сил:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n M_A = 0 \\ \sum_{i=1}^n M_B = 0 \end{cases}$$

$$-P_2 \cdot 205 - R_b \cdot 320 + P_1(320 + 125) = 0;$$

$$R_a \cdot 320 - P_2 \cdot 115 - P_1 \cdot 125 = 0;$$

$$R_b = \frac{-P_2 \cdot 205 + P_1 \cdot (320 + 125)}{320} = \frac{-4367,75 \cdot 205 + 11170,5 \cdot 445}{320} = 12735,89H;$$

$$R_a = \frac{P_2 \cdot 115 + P_1 \cdot 125}{320} = \frac{4367,75 \cdot 115 + 11170,5 \cdot 125}{320} = 5933,14H.$$

Перевіряємо чи правильно визначені реакції:

$$\sum y = -5933,14 + 4367,75 + 12735,89 - 11170,5 = 0.$$

Отже опорні реакції визначено правильно.

Для підшипника передньої опори:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 42} \left(\frac{245000}{12735,89} \right)^{3,33} = 7495057 \text{ год.}$$

Для підшипника задньої опори:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 42} \left(\frac{85200}{5933,14} \right)^3 = 1175072 \text{ год.}$$

Підшипники передньої і задньої опори вибрано вдало ($L_h > 25000$ год).

У зв'язку з значним запасом довговічності враховувати ефект зношення підшипників немає необхідності.

Визначимо жорсткість опор. Для цього спочатку визначимо величину контактних деформацій на поверхнях посадки:

$$\delta_r'' = \frac{4R \cdot K_2}{\pi \cdot d \cdot B} \left(1 + \frac{d}{D} \right), \text{мм} \quad (3.25)$$

де R – радіальна реакція опори, H ;

d і D – відповідно внутрішній і зовнішній діаметри підшипника, $мм$;

B – ширина підшипника, $мм$;

$K_2 = 0,001 \div 0,025 \text{ мм}^3/кг$.

Прийнявши $K_2 = 0,005 \text{ мм}^3/кг$, визначаємо:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– для передньої опори

$$\delta_{rB}'' = \frac{4 \cdot 12735,89 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 140 \cdot 45,5} \left(1 + \frac{140}{210} \right) = 2,1 \text{ мкм};$$

– для задньої опори

$$\delta_{rA}'' = \frac{4 \cdot 5933,14 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 120 \cdot 28} \left(1 + \frac{120}{180} \right) = 1,87 \text{ мкм}.$$

Величину контактного зближення кілець підшипників δ_r' знаходимо враховуючи величини попереднього натягу. Визначаємо радіальну податливість безззорних підшипників в залежності від їх розмірів і радіальної реакції, згідно [13 с.21, рис.15]:

– для передньої опори $d=140\text{мм}$, $R_b=12735,89\text{Н}$ становить $\delta_{rOB}' = 25,4\text{мкм}$;

– для задньої опори $d=120\text{мм}$; $R_a=5933,14\text{Н}$ становить $\delta_{rOA}' = 18,8\text{мкм}$.

Задаємо величину натягу:

$$e = (1 \div 2,5) \delta_{ro}, \text{ мкм}. \quad (3.26)$$

Для передньої опори $e_B = 1,5 \cdot 25,4 = 38,1\text{мкм}$.

Для задньої опори $e_A = 1,5 \cdot 18,8 = 28,2\text{мкм}$.

Визначаємо величину відносного натягу за формулою:

$$\rho = \frac{e}{\delta_{ro}}, \quad (3.27)$$

$$\rho_A = \left(-\frac{28,2}{18,8} \right) = -1,5; \quad \rho_B = \left(-\frac{38,1}{25,4} \right) = -1,5.$$

Згідно [13 с.31, рис.16] знаходимо коефіцієнт податливості опор B і A :

$$K_{\delta B} = 0,4; \quad K_{\delta A} = 0,4.$$

Визначаємо загальну податливість підшипників

$$\delta_{rnB}' = 0,4 \cdot 25,4 = 10,16\text{мкм}; \quad \delta_{rnA}' = 0,4 \cdot 18,8 = 7,52\text{мкм}.$$

Враховуючи контактну деформацію поверхонь посадок δ_r'' ($\delta_{rB}'' = 2,1\text{мкм}$, $\delta_{rA}'' = 1,87\text{мкм}$), знаходимо загальну податливість опор:

$$\delta_{rA} = 2,1 + 7,52 = 9,62\text{мкм};$$

$$\delta_{rB} = 1,87 + 10,16 = 12,03\text{мкм}.$$

Жорсткість опор визначаємо за формулою:

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$j_B = \frac{R}{\delta_r}, \frac{H}{\text{мкм}}, \quad (3.28)$$

$$j_B = \frac{R_B}{\delta_{rB}} = \frac{12735,89}{12,03} = 1058,68 \frac{H}{\text{мкм}}; j_A = \frac{R_A}{\delta_{rA}} = \frac{5933,14}{9,62} = 616,75 \frac{H}{\text{мкм}}.$$

При відомій жорсткості опор записуємо рівняння прогину переднього кінця шпинделя:

$$y = -P_1 \left[\frac{(c+l)^2}{j_B \cdot l^2} + \frac{c^2}{j_A \cdot l^2} + \frac{c^2(c+l)}{3EI} \right] - P_2 \left[\frac{a(c+l)}{j_B \cdot l^2} - \frac{b \cdot c}{j_A \cdot l^2} - \frac{ac(l^2 - a^2)}{6EI} \right], \text{мм}$$

$$y = -11170,5 \cdot \left[\frac{(125+320)^2}{1,059 \cdot 320^2} + \frac{125^2}{0,617 \cdot 320^2} + \frac{125^2 \cdot (125+320)}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 177990,63} \right] +$$

$$- 4367,75 \left[\frac{205 \cdot (125+320)}{1,059 \cdot 320^2} - \frac{115 \cdot 125}{0,617 \cdot 320^2} - \frac{205 \cdot 125 \cdot (320^2 - 205^2)}{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 177990,63 \cdot 320} \right] = 0,00412 \text{мм}.$$

Прогин шпинделя становить 4,12мкм, що є допустимим.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Згідно ДСТУ 12.0.003-12 небезпечним виробничим фактором, називають фактор, дія якого на працівника призводить до травми чи до неочікуваного погіршення здоров'я.

Небезпечний виробничий фактор призводить до травм, а шкідливий виробничий фактор призводить до професійного захворювання. При вірній організації робочого місця дія небезпечного виробничого фактора зводиться до мінімуму. Робоче місце це зона прикладання праці окремого робітника чи групи робітників, в якій розташовані матеріально-технічні засоби виробництва.

Організація робочого місця – комплекс організаційних заходів, що забезпечують раціональний трудовий процес та ефективне використання засобів та предметів праці. Для вірної організації робочого місця необхідно забезпечити:

1. Вірне планування робочого місця та раціональне оснащення його відповідним сучасним обладнанням та технологічною оснасткою.
2. Оптимальне просторове положення матеріальних засобів виробництва.
3. Раціональне кольорове фарбування обладнання.
4. Нормоване освітлення робочого місця.

При плануванні робочого місця необхідно передбачити:

- 1) Можливість виконання раціональних рухів, що необхідні для виконання трудового процесу;
- 2) Найбільш економне використання виробничої площі та скорочення шляхів переміщення робітника під час транспортування деталі;

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата					
Розроб.		Мулик Р.П.			Безпека життєдіяльності та основи охорони праці		Літ	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Окіпний І.Б.							
Рецензент									
Н. контр.		Кобельник В.Р.							
Зав. каф.		Крупа В.В.							
					ТНТУ, гр. МВ-41				

3) Раціональне розташування обладнання та оснастки відповідно до послідовності технологічного процесу.

4) Загальні фізіологічні та антропометричні данні людини(зріст, розмах рук та інше).

Основною задачею проектування організації робочого місця є утворення такої конструкції організованого оснащення, при якому відсутні зайві і нераціональні рухи і проблеми, максимально скорочують відстані переміщення робітника. Правильна організація робочого місця передбачає достатнє оснащення його оснащенням і тарою, інструментом і пристосуваннями, які необхідні для забезпечення технологічного процесу, засобами контролю, підйомно-транспортним обладнанням, яке забезпечує мінімальні затрати праці і часу верстатника. Правильна організація робочого місця також повинна забезпечити повну безпеку праці, раціональне освітлення, нормальну температуру, вологість, чистоту повітря.

Розроблений план робочого місця для спеціального фрезерно-центрувального верстата-автомата показано на рисунку 4.1. На підлозі цеху розміщений верстат 1, зліва від нього розміщений магазин з заготовками 3, а також інструментальна тумбочка 4, яка призначена для зберігання ріжучого, вимірювального і допоміжного інструменту, Справа від верстата розміщена тара для готових деталей 2.

Створення сприятливих умов праці, які виключають швидке втомлення зору, виникають підвищенню продуктивності праці, можливе лише освітлювальною установкою, яка має відповідати певним умовам згідно СНиП П-А.9-71 і СНиП П-А.8-72. Освітленість на робочому місці має відповідати зоровим умовам праці згідно гігієнічних норм. Рекомендована освітленість в механічних цехах при роботі на верстатах зведено в табл. 4.1.

Для обмеження засліплюючої дії відбитого світла яскравість допускається значеннями від 500 кД/м² (для поверхні $\theta > 0,2$ м²) і до 2500 кД/м² (для $\theta < 0,01$ м²).

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця .4.1 - Норми освітлення

Лампи розжарювання				Газорозрядні лампи			
Освітленість, ЛК			Коеф. запасу К	Освітленість, ЛК			Коеф. запасу К
Комбіноване освітлення		Загальне освітлення		Комбіноване освітлення		Загальне освітлення	
Загальне і місцеве	Загальне				Загальне і місцеве		Загальне
1500	150	-	1,3	2000	200	-	1,5

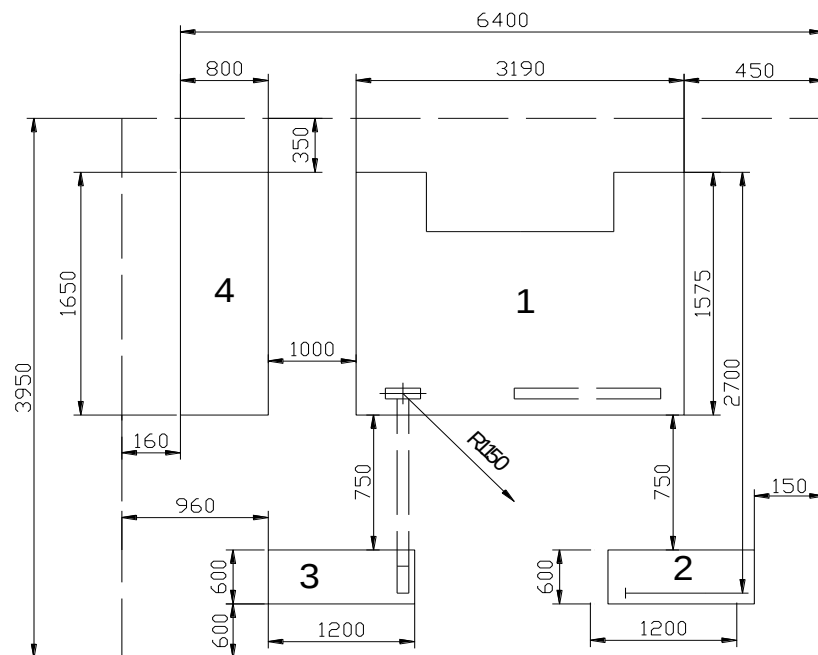


Рис. 4.1. Робоче місце.

1. Верстат.
2. Тара для готових деталей.
3. Магазин з заготовками.
4. Інструментальна тумбочка.

Найбільшу небезпеку виникнення променевого тепла представляє розплавлений або нагрітий до високих температур метал. Передача тепла може проходити шляхом конвекції, теплопровідності і випромінювання. Перенос тепла відбувається: при конвекції – рухливою середою (потокami повітря, пару або рідини); при теплопровідності – передачею тепла в твердих тілах; при випромінюванні – інтенсивними інфрачервоними променями, котрі безпосередньо повітря не нагрівають, але при поглинанні їх твердими тілами променева енергія переходить в теплову. Нагріті тверді тіла стають джерелами тепла і шляхом конвекції нагрівають повітря в приміщенні.

Дія променевого тепла не завершується змінами, які відбуваються на опромінюваній ділянці шкіри, – на опромінювання реагує весь організм. В організмі виникають біохімічні зміни, настають порушення в серцево-судинній і нервовій системах. При довгочасній дії інфрачервоних променів виникає катаракта очей.

Променева енергія, як і безпосередній контакт з розплавленим або нагрітим металом, може викликати теплові опіки, які по степеню ураження розділяються на три види.

Санітарними нормами передбачено технологічні процеси і промислове обладнання приймати таким, щоб виділення в повітря приміщень, атмосферу і в стічні води були відсутніми або мінімальними шкідливих або неприємно пахучих речовин, тепла і вологи, а також пилу.

Здійснення необхідних міроприємств належить проводити замінюючи шкідливі речовини в промисловості нешкідливими або менш шкідливими; сухі способи переробки пилових матеріалів – мокрими; полум'яний нагрів – електричним; тверде і рідке паливо – газоподібним, а також використовуючи герметизацію і максимальне ущільнення стиків і з'єднань в технологічному обладнанні і трубопроводах – для упередження виділення шкідливостей в процесі виробництва; теплоізоляцію нагрітих поверхонь обладнання,

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

повітропроводів і трубопроводів; укриття погрузочних ємностей механічного транспорту; використовуючи гідропневмотранспортування при транспортуванні пилових матеріалів.

Одним з основних міроприємств по оптимізації параметрів мікроклімату і складу повітря в промислових приміщеннях є забезпечення належного повітрообміну.

Для того щоб створити в промислових приміщеннях нормальні метеорологічні умови, видалити з них шкідливі гази і пари, пил необхідно правильно спроектувати і правильним способом експлуатувати вентиляційну систему (ДСТУ 12.4.021-12).

Робота вентиляційної системи в комплексі з вибором технологічних процесів по ДСТУ 12.3.002-12 і промислового обладнання, відповідаючим вимогам ДСТУ 12.2.003-10, повинна забезпечувати на постійних робочих місцях, в робочій і обслуговуваній зонах приміщення метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища, відповідаючим діючим санітарним нормам.

Разом з тим вентиляція повинна забезпечувати умови, що відповідають вимогам технологічного процесу, збереження обладнання і конструкцій будівлі. Встановлення вентиляції в виробничих і допоміжних приміщеннях промислових підприємств є обов'язковим.

Вентиляція по способу переміщення повітря поділяється на природну і механічну. Можливе їх суміщення – змішана вентиляція.

Природна вентиляція поділяється на *аерацію* і *провітрювання*.

По характеру обхвату приміщення розрізняють загальнообмінну і місцеву вентиляцію; можливе також поєднання цих двох видів вентиляції.

По часу дії – постійно діючу і аварійну. Система вентиляції повинна забезпечувати нормальний склад повітря в виробничих приміщеннях і бути раціональною при якомога менших затратах на її встановлення і експлуатацію.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Правильно підібрана система вентиляції повинна очищувати приміщення від пилу, газу і парі, які виділяються при виробничих процесах. Тому необхідно визначити місця можливих виділення вказаних шкідливостей і обладнати їх місцевими витяжками. Слід мати на увазі, що обмежуватися лише засобами місцевої витяжної вентиляції не можна, присутність загальнообмінної вентиляції обов'язково.

Природна вентиляція здійснюється під дією різниці температур і ваги повітря виробничих приміщень, а також вітрового примусу. Застосування природної вентиляції потребує розміщення обладнання перпендикулярно повздовжнім стінам для забезпечення вільного руху повітряних потоків.

Провітрювання приміщень проводять, відкриваючи квартирки і фрамуги в вікнах і світлових фонарях; це періодично діюча природна вентиляція. Повітрообмін в холодний період року допускається не більше однократного в годину. При цьому необхідно слідкувати, щоб не було пониження температури повітря всередині приміщення нижче розрахункової, появи туману і конденсації водяних парів на поверхні стін, покритті, стекол.

Санітарними нормами встановлено, що об'єм промислових приміщень на одного працюючого повинен складати не менше 15 м³, а площа приміщень – не менше 4,5 м². В промислових приміщеннях з об'ємом до 20 м³ на одного працюючого при відсутності забруднення повітря промисловими шкідливостями вентиляція повинна забезпечувати подачу зовнішнього повітря в кількості не менше 30 м³ в годину на кожного працюючого, а в приміщеннях з об'ємом 20 м³ на одного працюючого – не менше 20 м³ в годину. В приміщеннях з об'ємом більше 40 м³ на одного працюючого при наявності вікон і фонарів допускається періодично відкривати створи вікон і фонарів для природної вентиляції. В усіх вказаних випадках при цьому повинні бути забезпечені норми по температурі і вологості повітря в виробничих приміщеннях.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Якщо в виробничому приміщенні виділяються тепло, волога, шкідливі речовини, пари, газы, пил то проводиться розрахунок повітрообміну з ціллю обґрунтування вибору системи вентиляції.

Отже, приймаємо систему вентиляції з допомогою аерації, для цього при проектуванні будівлі слід передбачити два ряди фрамуг. Приток повітря в приміщення приймається в теплий період року на висоті не більше 1,8 м від підлоги, а в холодний не менше 4 м від підлоги, щоб забезпечити кращий повітрообмін, попередити дію холодного повітря на працюючих і виключити можливість простудних захворювань.

Оскільки розряд виконуваних робіт в виробничому приміщенні – Пб з незначним виділенням явного тепла, то прийняті параметри мікроклімату за ДСТУ 12.1.005-12.

1) В теплий період року:

температура повітря (оптимальна)	—	20-22 °С;
температура повітря (допустима)	—	18-20 °С;
відносна вологість (оптимальна)	—	60-40 %;
відносна вологість (допустима)	—	не вище

75%;

швидкість руху повітря (не більше) (оптимальна)	—	0,4 м/с.
швидкість руху повітря (не більше) (допустима)	—	0,3-0,7 м/с.

1) В холодний і перехідний періоди року:

температура повітря (оптимальна)	—	17-20 °С;
температура повітря (допустима)	—	15-21 °С;
відносна вологість (оптимальна)	—	60-40 %;
відносна вологість (допустима)	—	не вище

75%;

швидкість руху повітря (не більше) (оптимальна)	—	0,3 м/с.
швидкість руху повітря (не більше) (допустима)	—	0,4 м/с.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У першому розділі визначено конструктивно-функціональні особливості деталі “*Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10*”, її роль у системі заднього моста автобуса ЛАЗ 695Н, та сформульовано основні технічні вимоги до її виготовлення. Аналіз існуючого технологічного процесу показав його недостатню ефективність при збільшенні обсягів виробництва. На підставі огляду сучасних технологічних рішень обґрунтовано необхідність модернізації приводу головного руху токарного напівавтомата, що є ключовим напрямом дослідження в межах теми роботи. Розглянуто можливості впровадження інноваційного оснащення та багатопиндельних систем, що забезпечують підвищення продуктивності при обробці саме цієї деталі.

У другому розділі згідно з поставленою метою — забезпечити ефективний технологічний процес виготовлення деталі “*Маточина заднього колеса 695Н-3104015-10*” — обґрунтовано вибір великосерійного типу виробництва з потоковою організацією. Рационально підібрано спосіб отримання заготовки (лиття з ВЧ40), методи обробки, бази, припуски й допуски, що безпосередньо впливають на вимоги до конструкції приводу головного руху, зокрема його жорсткість, точність і потужність. Проведено вибір та розрахунок режимів різання, що лягли в основу наступного етапу — конструктивного вдосконалення приводу. У такий спосіб технологічна частина встановлює вимоги, які має задовольняти сконструйований привід.

У конструкторській частині здійснено реалізацію теми роботи — розробки компонентів приводу головного руху токарного напівавтомата, який забезпечує обробку маточини 695Н-3104015-10. Здійснено кінематичний, силовий і конструктивний розрахунки, що дозволили обґрунтувати вибір схеми регулювання обертів, передаточних чисел, конфігурації зубчастих пар, типу приводу та шпиндельного вузла.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ			
		№ докум	П					
Розроб.	Ткачук В.Ю.				Зміст	П	Ар	Ар
Перевір.	Сеник А.А.					Н		1
Рецензент								
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Зав. каф.	Крупа В.В.					ТНТУ, гр. МВ-41		

Всі параметри приводу адаптовано до вимог обробки саме цієї деталі — з урахуванням сил різання, жорсткості, точності та довговічності. Як результат, спроектовано функціонально надійний вузол, який оптимально працює в умовах серійного виробництва заданої маточини.

Усі розділи роботи тісно пов'язані з темою проєкту. Від аналізу об'єкта виробництва й формування вимог до технологічного процесу — до розрахунку та конструювання приводу головного руху — виконано повний комплекс досліджень і розробок, спрямованих на підвищення ефективності обробки маточини заднього колеса 695Н-3104015-10 на модернізованому токарному напівавтоматі. Робота забезпечує практичне впровадження результатів на виробництві.

					КРБ МВ 21-043.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зам.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Harmonic-dispersion analysis of the shape accuracy of the rolling bushings of drive roller and bushing chains / Senyk A., Kovalov V., Klymenko G., Vasylchenko Y., Shapovalov M., Kobelnyk O. // Procedia Structural Integrity. 7th International Conference on In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction, DMDP 2023 Ternopil 18 October 2023 до 20 October 2023. 2024. Vol. 59, P. 502-507.
2. The influence of titanium as a desferoidizing element on the stability of production of magnesium cast irons with compacted graphite / A. Senuk, L. Slobodyan, V. Aulina, V. Kropivnya, O. Kuzyka, O. Lyashuk, M. Bosyia, Y. Vovk, A. Kropivna, M. Sokolc // Tribology in Industry. - Kragujevac : University of Kragujevac, 2021. - Vol. 43. - № 4. - P. 654-666.
3. New technology for the manufacturing and use of rolling kingpin bushings in the undercarriage of certain vehicles / Senyk A., Kobelnyk V., Gagaliuk A., Plavutska I., Matviyishyn A., Larochkin A., Dubyniak T. // Procedia Structural Integrity. 7th International Conference on In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction, DMDP 2023 Ternopil 18 October 2023 до 20 October 2023. 2024. Vol. 59, P. 508-515.
4. P. Kryvyy, P. Kryvinsky, V. Bodnar, I. Sotnyk, A. Senuk. "Theoretical and Experimental Substantiation of Angle Orientation of Rolling Bushings of Roller and Bushing Chains". Paper no. MSEC 2007-31211 International Manufacturing Science and Engineering conference. October 15-18, 2007, Atlanta, Georgia, USA, pp. 623-627.
5. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization / Andriy Nahalyuk, Volodymyr Krupa // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2023. — Vol 111. — No 3. — P. 67–75.
6. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Вплив орієнтації згортних втулок на підвищення точності контактних кроків привідних роликів і втулкових ланцюгів / А. А. Сенік, В. Б. Котильницький // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року, с. 117.

8. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.

9. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Стойко І. І., Марчук Н. М., Сіправська М. Д. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. Вип. 40. Луцьк, 2018. С. 21-31.

10. До питання точності форми згортних втулок за параметром відхилення від круглості / Кривий П.Д., Дзюра В.О., Тимошенко Н.М., Сенік А.А. // Збірник тез доповідей 8-мої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»: 28 – 29 вересня 2017 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2017. – С. 434 – 435.

11. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Склярів, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.

12. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

13. Кривий П. Д. Дослідження макроеометрії поперечних перерізів циліндричних поверхонь на прикладі шкворневих втулок / П. Д. Кривий, А. А. Сенік, В. О. Дзюра, В. Р. Кобельник // Збірник тез доповідей 7-мої

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування»: 22– 23 вересня 2016 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2016. – С. 188 – 189.

14. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищеної якості згортних втулок : монографія / Кривий П. Д., Сенік А. А. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 232 с.

15. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.

16. Кузнєцов Ю. М., Новосьолов Ю. К., Луців. І. В. Теорія технічних систем: підручник. Севастополь : СевНТУ, 2011. 246 с.

17. Кузнєцов Ю. М., Склярів Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнєцов, Р. А. Склярів; під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

18. Крупа В.В. Теорія технічних систем: особливості побудови створення та розвитку: навчальний посібник / Володимир Крупа. – Тернопіль : Осадца Ю.В., 2023. – 308 с.

19. Нова технологія виготовлення згортних втулок приводних роликів ланцюгів на основі імовірнісного підходу / П.Д. Кривий, А.А. Сенік, Н.М. Тимошенко, О.І. Яловий // Матеріали Всеукраїнської науковопрактичної конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування»: 11–12 травня 2017 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2017 р. – С. 92 – 93.

20. Підвищення ефективності ультразвукової фінішної обробки на верстатах з ЧПУ / М.В. Федорцов, В.В. Хорошайло, А.А. Сенік, Б.Б. Яремчук. Важке машинобудування. проблеми та перспективи розвитку : МАТЕРІАЛИ XXII Міжнар. науково-технічної конференції, м. КраматорськТернопіль, 28 трав. 2024 р. 2024. С. 199.

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.

22. Редько Р.Г., Склярів Р.А., Шанайда В.В. Порівняльно-правовий аналіз законодавства в області інтелектуальної власності в країнах ЄС та Україні. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки». Луцьк, 2023, №75. С. 9 - 14.

23. Сенік А.А. Визначення найімовірнішої довжини заготовки для згортної втулки / Оліховський В. // Міжнародна студентська науковотехнічна конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 27-28 квітня 2023. — Т. : ТНТУ, 2023. — С. 248–249. — (Механічна інженерія).

24. Сенік А. А. Вплив орієнтації згортних втулок на підвищення точності контактних кроків привідних роликів втулкових ланцюгів / А. А. Сенік, В. Б. Котильницький // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 117. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні)

25. Сенік А. Експериментальне дослідження впливу радіуса транспортного каналу і способу базування на відхилення від круглості згортних втулок / Атаманчук О., Дмитраш О. // Міжнародна студентська науково-технічна конференція „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 27-28 квітня 2023. — Т.: ТНТУ, 2023. — С. 208–209. — (Механічна інженерія).

26. Сенік А.А. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищення точності форми згортних втулок / Сенік А.А. // Збірник наукових праць «Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем» ДДМА. – Краматорськ, 2017. – Вип. № 41, – С. 46 – 55.

27. Сенік А.А. Нова технологія формування згортної втулки підвищеної точності форми / Сенік А.А. // Збірник тез доповідей 5-тої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті,

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

технології та обладнання для їх обслуговування»: 1–3 жовтня 2014 р.: тези доп. – Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 225 – 226.

28. Сенік А. А. Експериментальне дослідження ступеня зміцнення внутрішньої циліндричної поверхні згортних втулок сформованих поверхнево-пластичним деформуванням / А. А. Сенік, І. В. Коваль // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин“, 23-24 вересня 2021. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2021. — С. 40–41.

29. Сенік А.А. Технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / А.А. Сенік. – Тернопіль, 2018. – 21 с.

30. Сенік А.А. Динамічні характеристики шпиндельного вузла з керованим натягом токарного верстата з ЧПК / А.А. Сенік, І.Т. Ярема, В.В. Крищишин // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11-12 грудня 2024 р.). – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – С. 197.

31. Сенік А.А. Експериментальне дослідження впливу радіуса транспортного каналу і способу базування на відхилення від круглості згортних втулок після операції згортання / А. Сенік, А. Галета, Д.Гурський // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11-12 грудня 2024 р.). – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – С. 198.

32. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник / Крижанівський В. А., Кузнецов Ю. М., Валявський І. А., Скляров Р. А. Кіровоград, 2004. 449 с.

33. Технологія складання внутрішніх ланок приводних роликів і втулкових ланцюгів із забезпеченням кутової орієнтації згортних втулок / Н. С. Інжиєвська, П. Д. Кривий, А. А. Сенік, Н. М. Тимошенко // Збірник тез

					КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т.: ТНТУ, 2020. — Том 1. — С. 69–70.

34. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.

					<i>КРБ МВ 21-037.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		