

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Конструювання приводу головного руху токарного верстата з розробкою
технологічного процесу виготовлення деталі «Диск»

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МВс-41
спеціальності _____

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

_____	Ярослав ПАРАЦУК
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	Володимир КРУПА
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	Володимир КОБЕЛЬНИК
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	Володимир КРУПА
_____	_____
(підпис)	(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
_____ Володимир КРУПА
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня _____ бакалавра
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю _____ 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)
студенту _____ Паращуку Ярославу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____
Конструювання приводу головного руху токарного верстата з розробкою технологічного процесу виготовлення деталі «Диск»

Керівник роботи _____ Крупа Володимир Васильович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21_» 01 2026 року №4/9-45
2. Термін подання студентом завершеної роботи _____ 23 червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи _____ Технологічний процес виготовлення деталі, креслення деталі, типові Технологічні процеси виготовлення типових деталей, базова модель токарного верстата,

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
_____ 1. Аналітичний розділ 2. Технологічний розділ. 3. Конструкторський розділ. 4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
_____ 1. Кінематична схема верстату- 1 ф. А1; 2. Шпindelьна бабка: складальне креслення – 1 ф. А1; 3. Креслення деталі – 1- ф А1; 4. Загальний вигляд верстата - 1 ф.А1;

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-практичної задачі — підвищенню ефективності токарної обробки деталей типу тіл обертання шляхом конструктивної модернізації базового верстата моделі токарного та впровадження оптимального технологічного процесу.

У першому розділі проведено аналіз базового верстата, визначено його конструктивні недоліки (вузький діапазон частот, застаріла СЧПК та датчики зворотного зв'язку) і запропоновано шляхи їх усунення.

У другому розділі виконано вибір та економічне обґрунтування методу виготовлення деталі «Диск» із чавуну СЧ 15. Розроблено маршрутно-операційну технологію обробки, розраховано міжопераційні припуски для поверхні $\varnothing 255h7$, похибки базування та норми штучно-калькуляційного часу для всіх операцій.

У третьому розділі виконано кінематичний та силовий розрахунки приводу головного руху верстата на базі моделі 16М30Ф3141, визначено геометричні параметри зубчастих коліс коробки швидкостей, розраховано пасову передачу та параметри шпindelного вузла з опорами на підшипниках кочення.

Обґрунтовано технічні рішення відповідно до вимог безпеки життєдіяльності та основ охорони праці

Ключові слова: *токарний верстат з ЧПК, модернізація, технологічний процес, деталь «Диск», сірий чавун, коробка швидкостей, припуск, шпindelний вузол.*

					КРБ 361.00.00.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Паращук				АНОТАЦІЯ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив	Крупа							
Н.конт.	Кобельник					ТНТУ, зр.МВс-41		
Затв.	Крупа							

Annotation

The qualification work is dedicated to solving a relevant scientific and practical problem - increasing the efficiency of turning parts of the type of bodies of rotation by constructively modernizing the basic lathe model and implementing an optimal technological process.

In the first section, an analysis of the basic lathe was carried out, its constructive shortcomings were identified (narrow frequency range, outdated SCHPC and feedback sensors) and ways to eliminate them were proposed.

In the second section, the selection and economic justification of the method for manufacturing the "Disk" part from SCH 15 cast iron were performed. A route-operational processing technology was developed, inter-operational allowances for the $\text{Ø}255\text{h}7$ surface, basing errors and standards of artificial-calculation time for all operations were calculated.

In the third section, kinematic and power calculations of the main motion drive of the machine tool based on the 16M30F3141 model were performed, the geometric parameters of the gear wheels of the gearbox were determined, the belt transmission and the parameters of the spindle assembly with bearings on rolling bearings were calculated.

Technical solutions were substantiated in accordance with the requirements of life safety and the basics of labor protection

Keywords: CNC lathe, modernization, technological process, part "Disk", gray cast iron, gearbox, allowance, spindle assembly.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне машинобудування характеризується переходом до гнучкого, високоавтоматизованого виробництва, що вимагає впровадження металорізального обладнання нового покоління. Значна частина парку токарних верстатів з ЧПК (наприклад, широко поширена базова модель 16K20T1) за своїми кінематичними характеристиками, надійністю систем керування та технологічними можливостями вже не повною мірою відповідає жорстким вимогам точності та продуктивності. Обмеженість обробки за один установ, застарілі різьбонарізні датчики та системи ЧПК типу «Електроніка НЦ-31» стримують ефективність виробництва деталей складного профілю. Тому модернізація наявного обладнання із застосуванням сучасних приводів, оптичних датчиків зворотного зв'язку та прогресивних револьверних головок є економічно вигідною та технічно виправданою альтернативою придбанню нових коштовних верстатів.

Мета і задачі дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є модернізація конструкції токарного верстата з ЧПК для розширення його технологічних можливостей і підвищення точності, а також розробка високоефективного технологічного процесу виготовлення деталі «Диск».

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати технічні характеристики та недоліки базового верстата, обґрунтувати напрямки його модернізації
2. Обґрунтувати вибір матеріалу та розробити оптимальний маршрут виготовлення деталі «Диск» на основі порівняльного техніко-економічного аналізу
3. Розрахувати режими обробки, технологічні припуски, похибки базування та норми часу на операції.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВСТУП		
<i>Розробив</i>	<i>Паращук</i>						
<i>Перевірів</i>	<i>Крупа</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Н.конт.</i>	<i>Кобельник</i>				<i>ТНТУ, зр.МВс-41</i>		
<i>Затв.</i>	<i>Крупа</i>						

4. Виконати повний кінематичний, силовий та геометричний розрахунок приводу головного руху верстата, включаючи параметри коробки швидкостей, пасової передачі та шпиндельного вузла
5. Провести автоматизований розрахунок шпиндельного вала

Об'єкт дослідження — процес механічної обробки деталей типу тіл обертання та кінематика токарних верстатів з ЧПК.

Предмет дослідження — конструктивні елементи приводу головного руху верстата, параметри точності позиціонування та технологічні режими виготовлення деталі «Диск».

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	3
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1. Аналіз базової моделі верстата	9
1.1.1. Призначення та технічні характеристики	9
1.1.2. Опис конструкції основних вузлів	11
1.2. Аналіз верстатів аналогічного призначення	15
1.3. Аналіз вихідних даних для проектування технологічного процесу	17
1.4. Аналіз публікацій з тематики кваліфікаційної роботи ...	21
1.6. Висновки по розділу, постановка мети та завдань роботи	25
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	27
2.1. Аналіз та вибір методу виготовлення деталі	27
2.2. Обґрунтування вибору матеріалу деталі	31
2.3. Розробка маршрутно-операційної технології	32
2.4. Вибір обладнання та інструментів	34
2.5. Вибір баз і розрахунок похибок базування	35
2.6. Розрахунок припусків на обробку та вибір заготовки ...	39
2.7. Нормування технологічних операцій	44
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	47
3.1. Кінематичний розрахунок приводу головного руху	47
3.1.1. Вибір основних геометричних параметрів верстата	47

					КРБ 361.00.00.000ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ					
Розробив		Паращук						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Крупа В.В.						5		
Н.конт.		Кобельник В.Р.						<i>ТНТУ, зр.МВс-41</i>		
Затв.		Крупа В.В.								

3.1.2. Розрахунок технологічних характеристик	47
3.1.3. Визначення передаточного числа і числа зубів зубчастих коліс коробки швидкостей	50
3.2. Силовий розрахунок приводу головного руху	52
3.2.1. Розрахунок коробки швидкостей	52
3.2.1. Розрахунок потужності на валах коробки швидкостей	53
3.2.2. Розрахунок крутних моментів на валах коробки швидкостей	53
3.2.3. Визначення модулів зубчастих коліс коробки швидкостей	54
3.2.4. Визначення геометричних параметрів зубчастих коліс	56
3.2.5. Визначення діаметрів валів	57
3.3. Розрахунок пасової передачі	57
3.4. Розрахунок шпиндельного вузла	59
3.5. Автоматизований розрахунок шпинделя засобами SolidWorks Simulation	61
3.5.1 Розрахунок елементів шпиндельного вала засобами SolidWorks Simulation	62
Висновки по розділу	67
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	69
4.1. Психологічні чинники небезпеки	69
4.2. Особливості заходів електробезпеки на підприємствах .	73
Загальні висновки	78
Список використаної літератури	79

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз базової моделі верстата

1.1.1. Призначення та технічні характеристики

16М30Ф3141 – токарний патронно-центровий верстат з ЧПК, призначений для обробки деталей типу тіл обертання зі ступінчастими, конічними та криволінійними поверхнями, а також для нарізування різей. Верстат орієнтований на умови дрібносерійного та серійного виробництва [32].

Основні технічні характеристики

Параметр	Значення
Найбільший діаметр заготовки над станиною	500 мм
Найбільший діаметр над супортом	320 мм
Найбільша довжина обробки	1500 мм
Маса заготовки	до 850 кг
Частота обертання шпинделя	8–2000 об/хв
Потужність головного приводу	30 кВт
Переміщення по осі X	605 мм
Переміщення по осі Z	1260 мм
Робочі подачі	1–4000 мм/хв
Швидкі переміщення	10000 мм/хв
Кількість керованих координат	2
Маса верстата	близько 8000 кг

Переваги базової моделі:

					КРБ 361.00.00.000ПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ					
<i>Розробив</i>	<i>Паращук</i>							<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>	<i>Крупа</i>									
<i>Н.конт.</i>	<i>Кобельник</i>							<i>ТНТУ, зр.МВс-41</i>		
<i>Затв.</i>	<i>Крупа</i>									

Висока жорсткість конструкції

Масивна станина та шпindelний вузол забезпечують стабільність при чорновій обробці та роботі твердосплавним інструментом.

Широкий технологічний діапазон

Верстат дозволяє виконувати:

- точіння;
- підрізування торців;
- свердління;
- розточування;
- нарізування різей;
- обробку фасонних поверхонь.

Достатня потужність приводу

Головний привід потужністю 30 кВт забезпечує обробку деталей великих розмірів та використання високопродуктивних режимів різання.

Можливість модернізації

Багато верстатів цієї моделі успішно модернізуються сучасними системами ЧПК NC-201M, Siemens, Fanuc тощо, що значно підвищує їх продуктивність.

Недоліки базової моделі

Застаріла система ЧПК НЦ-31

Порівняно із сучасними системами має обмежені функціональні можливості та незручний інтерфейс.

Лише дві керовані координати

Відсутність приводного інструменту та осі С обмежує технологічні можливості порівняно із сучасними токарними центрами.

Невелика місткість револьверної головки

Чотири позиції інструмента недостатньо для складних операцій з багатьма переходами.

Великі габарити та маса

Верстат потребує значних виробничих площ та потужного фундаменту.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.2. Опис конструкції основних вузлів

Станина

Станина є базовим елементом конструкції верстата та виконує роль несучої системи, на якій монтуються всі основні вузли. Вона являє собою масивну чавунну відливку коробчастого типу із розвиненою системою внутрішніх ребер жорсткості. Таке конструктивне виконання дозволяє забезпечити високу вібростійкість і мінімізувати пружні деформації під час дії сил різання.

У верхній частині станини розташовані напрямні, по яких переміщуються супорт і задня бабка. Напрямні мають призматичний та плоский профіль, що забезпечує точне позиціонування вузлів та рівномірний розподіл навантажень. Робочі поверхні напрямних піддаються термічному зміцненню та шліфуванню, завдяки чому підвищується їхня зносостійкість та забезпечується стабільність геометричної точності протягом тривалого часу експлуатації.

Велика маса станини дозволяє ефективно гасити коливання, які виникають під час чорнової обробки та обробки деталей значних розмірів. Саме станина визначає загальну жорсткість технологічної системи та безпосередньо впливає на точність і якість обробки.

Шпиндельна бабка

Шпиндельна бабка встановлюється на лівому кінці станини та призначена для закріплення, підтримування і обертання заготовки. В її корпусі розміщені шпиндельний вузол, механізми передавання руху та елементи системи змащування.

Корпус бабки виконаний у вигляді жорсткої чавунної конструкції, здатної сприймати значні радіальні та осьові навантаження. Основним елементом бабки є шпиндель, який являє собою порожнистий вал, встановлений на високоточних радіально-упорних підшипниках. Використання прецизійних підшипників забезпечує високу точність обертання та необхідну жорсткість вузла.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Шпиндель має наскрізний отвір для пропускання пруткового матеріалу та оснащується пристроями для встановлення патрона або центрів. Передача обертання від головного електродвигуна здійснюється через механічну коробку швидкостей, що дозволяє реалізувати широкий діапазон частот обертання шпинделя.

Конструкція шпиндельного вузла забезпечує стабільність положення заготовки під час обробки, зменшує радіальне биття та створює умови для отримання високої точності деталей.

Задня бабка

Задня бабка призначена для підтримування довгомірних заготовок під час обробки в центрах, а також для встановлення осьового інструменту. Вона встановлюється на напрямних станини та може переміщуватися вздовж осі обробки залежно від довжини заготовки.

Основними елементами задньої бабки є корпус, піноль, механізм переміщення пінолі та механізм фіксації. Корпус виготовляється з чавуну та має високу жорсткість. Усередині корпусу розташовується піноль, яка може переміщуватися в осьовому напрямку за допомогою гвинтового механізму.

У конічному отворі пінолі встановлюються центри або різноманітний осьовий інструмент. Для фіксації задньої бабки на напрямних використовується затискний механізм, який забезпечує надійне закріплення вузла під час роботи.

Застосування задньої бабки дозволяє значно зменшити прогин довгих валів під дією сил різання та підвищити точність обробки.

Супорт із приводами подач

Супорт є одним із найважливіших вузлів верстата, оскільки забезпечує переміщення різального інструменту відносно заготовки. Він складається з поздовжніх і поперечних салазок, механізмів подач та приводів координатних переміщень.

Переміщення по осі Z здійснюється вздовж напрямних станини, а по осі X — у поперечному напрямку. Для реалізації точних переміщень

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються кульково-гвинтові передачі, які характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії, мінімальним люфтом та високою точністю позиціонування.

Приводи подач виконані на базі серводвигунів постійного або змінного струму. Використання сервоприводів забезпечує плавність руху, високу швидкодію та можливість реалізації складних траєкторій обробки.

Конструкція супорта забезпечує точне відтворення заданої траєкторії руху інструмента та дозволяє виконувати обробку складних профілів відповідно до керуючої програми.

Револьверна головка

Для автоматизації зміни інструменту верстат оснащується револьверною головкою. Вона являє собою багатопозиційний пристрій, що дозволяє встановлювати кілька різальних інструментів та швидко перемикається між ними в процесі обробки.

У базовій моделі застосовується чотирьохпозиційна револьверна головка. Її корпус встановлюється на супорті та приводиться в рух спеціальним механізмом індексації. Після вибору необхідної позиції здійснюється точна фіксація головки за допомогою зубчастих муфт або спеціальних замкових механізмів.

Використання револьверної головки дозволяє виконувати декілька технологічних переходів без участі оператора, що скорочує допоміжний час та підвищує продуктивність верстата.

Система числового програмного керування

Керування роботою верстата здійснюється системою ЧПК типу НЦ-31. Вона забезпечує автоматичне виконання програми обробки та координацію роботи всіх основних вузлів верстата.

До складу системи входять пристрої введення програм, обчислювальний блок, блоки керування приводами та система зворотного зв'язку. Інформація

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

про переміщення виконавчих органів надходить від датчиків положення, після чого система формує керуючі сигнали для сервоприводів.

Наявність ЧПК дозволяє автоматизувати виконання складних операцій, забезпечити високу повторюваність розмірів та мінімізувати вплив людського фактора на точність обробки.

Система охолодження та автоматичного змащування

Для забезпечення надійної роботи верстата застосовується централізована система змащування та система подачі мастильно-охолоджувальної рідини.

Система охолодження включає бак для рідини, насос, трубопроводи та форсунки для подачі рідини в зону різання. Охолодження сприяє відведенню тепла від інструмента та заготовки, зменшенню зношування інструмента і покращенню якості обробленої поверхні.

Система автоматичного змащування забезпечує безперервну подачу мастильних матеріалів до напрямних, кулькогвинтових передач, підшипників та інших вузлів тертя. Це дозволяє зменшити зношування деталей та збільшити термін служби обладнання.

Транспортер стружки та пневматичний патрон

Для підвищення рівня автоматизації верстат оснащується транспортером стружки та пневматичним патроном.

Транспортер стружки забезпечує безперервне видалення відходів різання із робочої зони. Це покращує умови роботи, знижує ризик пошкодження інструмента та підвищує безпеку експлуатації верстата.

Пневматичний патрон використовується для швидкого закріплення та звільнення заготовок. Затиск здійснюється за допомогою пневматичного приводу, що дозволяє значно скоротити допоміжний час і підвищити продуктивність при серійному виготовленні деталей.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Аналіз верстатів аналогічного призначення

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики верстатів-аналогів

Параметр	16М30Ф3141	16К20Ф3 (модерніз.)	1В340Ф30	Haas ST-20 (умовний аналог)
Тип верстата	Токарний з ЧПК	Токарний з ЧПК	Токарний з ЧПК	Токарний центр з ЧПК
Макс. діаметр обробки над станиною, мм	500	400	320	356
Макс. діаметр над супортом, мм	320	220	200	241
Макс. довжина обробки, мм	1500	1000	500	533
Кількість координат	2	2	2	2
Тип ЧПК	НЦ-31	Siemens / Fanuc (мод.)	НЦ-31	Haas CNC
Діапазон обертів шпинделя, об/хв	8–2000	20–2500	20–2000	0–4000
Потужність головного приводу, кВт	30	11–15	10–15	15
Кількість інструментів	4 (револьвер)	8–12	6–8	12
Тип інструментальної системи	Револьверна	Револьверна	Револьверна	Барабанна
Точність позиціонування, мм	±0.05	±0.02–0.03	±0.03–0.05	±0.01–0.02
Маса верстата, кг	~8000	~5000	~3500	~4200

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Короткий аналіз результатів

1. Загальна компоновка

Усі розглянуті верстати належать до **2-осьових токарних систем**, що орієнтовані на обробку тіл обертання. Верстат 16М30Ф3141 має більш масивну конструкцію, що забезпечує підвищену жорсткість, але знижує динамічність.

2. Жорсткість та габарити

- **16М30Ф3141** — найбільш масивний (≈ 8000 кг), що дає перевагу при чорновій обробці.
- Сучасні аналоги (Haas ST-20, 16K20Ф3) легші, але використовують композитні матеріали та оптимізовану геометрію.

Висновок: старші моделі виграють у жорсткості, сучасні — у динаміці.

3. Потужність та продуктивність

- 16М30Ф3141 має найвищу потужність (30 кВт), що дозволяє працювати з великими припусками.
- Сучасні верстати компенсують меншу потужність високими обертами шпинделя та ефективними приводами.

4. Технологічні можливості

- Базова модель має лише **4 інструменти**, що обмежує складність обробки.
- Сучасні аналоги мають **8–12 інструментів**, що значно скорочує допоміжний час.
- Відсутність додаткових осей (С, Y) у 16М30Ф3141 обмежує обробку складних поверхонь.

5. Системи керування

- НЦ-31 — застаріла система з обмеженим функціоналом.
- Сучасні системи (Fanuc, Siemens, Haas) забезпечують:
 - інтерполяцію 3D траєкторій,
 - діагностику,
 - адаптивні режими різання.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Точність

- Найвища точність у сучасних верстатів (до ± 0.01 мм).
- 16М30Ф3141 поступається через конструктивні особливості та стару елементну базу.

1.3. Аналіз вихідних даних для проєктування технологічного процесу

Вихідними даними для проєктування є: креслення деталі «Диск», програма випуску, матеріал деталі та чистота обробки [36, 39].

Деталь досить проста за конструкцією, має хороші базові поверхні для початкових операцій. Розташування отворів не утруднює доступ інструменту. Попередній аналіз креслення дозволяє говорити про досить високу технологічність конструкції деталі [37].

Диск виготовляють із сірого чавуну СЧ 15. У сірих чавунах весь вуглець знаходиться у вільному стані у вигляді пластинчастого графіту. Крім вуглецю містяться домішки кремнію, марганцю та фосфору. За своїми механічними характеристиками ця марка чавуну має високу твердість, крихкість, але піддається механічній обробці. Границя міцності при розтягу дорівнює 150 Мпа.

Для виготовлення деталі потрібно обрати заготовку, яка характеризується кращим використанням матеріалу і меншою вартістю. Перевагу слід надати тій заготовці, яка забезпечує меншу технологічну собівартість деталі. Розглянемо два варіанти:

а) собівартість заготовки з прокату. Використаємо круглий сортовий профіль загального призначення.

$$S_{заг} = M + \Sigma C_{оз}, \quad (1.1)$$

де M – затрати на матеріал заготовки, грн.;

$\Sigma C_{оз}$ – технологічна собівартість операцій, грн.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Sigma C_{oz} = \frac{C_{пз} \cdot T_{шт}}{60 \cdot 100}, \quad (1.2)$$

де $C_{пз}$ – приведені затрати на робочому місці, грн./год.;

$T_{шт}$ – штучний або штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції, хв.

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (1.3)$$

де Q – маса заготовки, кг.;

S – ціна одного кілограма заготовки, грн.;

Q – маса готової деталі, кг.;

$S_{відх}$ – ціна однієї тонни відходів, грн.

Заготовку з прокату будемо відрізати на абразивно-відрізних верстатах, тому маємо такі значення $C_{пз}$ і $T_{шт}$:

$$C_{пз} = 121 \text{ грн./год.};$$

$$T_{шт} = 1,2 \text{ хв.}$$

$$\Sigma C_{oz} = \frac{121 \cdot 1,2}{60} = 2,42 \text{ грн.}$$

З таблиць знаходимо значення S і $S_{відх}$:

$$S = 15000 \text{ грн. за одну тонну};$$

$$S_{відх} = 2480 \text{ грн. за одну тонну.}$$

Із креслення $q = 4$ кг. Приймаємо $Q = 5$ кг.

$$M = 5 \cdot \frac{15000}{1000} - (5 - 4) \cdot \frac{2480}{1000} = 72,52 \text{ грн.}$$

$$S_{заг} = 2,42 + 72,52 = 74,94 \text{ грн.};$$

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) собівартість заготовки методом лиття. Використовуємо литво у металокерамічні форми. Цей спосіб дозволяє отримати шорсткість поверхні R_z до 20 мкм.

$$S_{заг} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (1.4)$$

де C_i – базова вартість однієї тонни заготовок, грн

$K_T, K_C, K_B, K_M, K_{II}$ – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та об'єму виробництва.

З прайсів цін продавців металу знаходимо:

$$C_i = 36000 \text{ грн.};$$

$$K_T = 1;$$

$$K_C = 0,83;$$

$$K_B = 0,91;$$

$$K_M = 1;$$

$$K_{II} = 0,52.$$

$$S_{заг} = \left(\frac{36000}{1000} \cdot 5 \cdot 1 \cdot 0,83 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 0,52 - (5 - 4) \cdot \frac{24,8}{1000} \right) = 68 \text{ грн.}$$

Із розрахунків видно, що з економічної точки зору вигідніше використовувати заготовки, отримані методом литва. Крім того, використання таких заготовок доцільніше з технологічної точки зору.

Тепер визначимо тип виробництва. Для цього заповнимо таблицю:

Таблиця 1.2 – Розрахунок типу виробництва

Операція	$T_{шт}, 10^{-3} \text{ хв}$	m_p	P	$\eta_{еф}$	O
І. Свердіння отворів	$0,52dl = 0,52(11 \cdot 10 \cdot 8 + 3 \cdot 17 \cdot 16) = 881,92$	0,93	100	0,0093	82,8

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Розточування отворів на токарному верстаті	$0,18dl=0,18(11 \cdot 10 \cdot 8 + 3 \cdot 17 \cdot 16)=305,28$	0,32	100	0,0032	240,6
3. Отримання фасок	$0,63(D^2-d^2)=2 \cdot 0,63(80^2-78,4^2)+$ $+3 \cdot 0,63(80^2-79,7^2)=409,88$	0,43	100	0,0043	179,0
4. Шліфування	$0,1dl=0,1(255 \cdot 10 + 205 \cdot 3 + 192 \cdot 4 + 80 \cdot 15 +$ $+42 \cdot 3 \cdot 3 + 255 \cdot 10)=806,1$	0,85	100	0,0065	118,5

Тут $T_{шт}$ — штучний або штучно-калькуляційний час, витрачений на кожну операцію. Значення $T_{шт}$ беремо з [25].

Значення m_p розраховуємо за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{зн}}, \quad (1.5)$$

де N – річна програма, шт. За завданням $N=100000$ штук;

F_d – дійсний річний фонд часу. Приймаємо $F_d=2050$ год.

$\eta_{зн}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання. Приймаємо $\eta_{зн}=0,77$.

Розрахувавши m_p , встановлюємо прийняте число робочих місць P . Далі, по кожній операції обчислюємо значення фактичного коефіцієнта завантаження робочого місця за формулою:

$$\eta_{зн} = \frac{m_p}{P}, \quad (1.6)$$

Кількість операцій, які виконуються на робочому місці, визначається за формулою:

$$O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}}, \quad (1.7)$$

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі розраховуємо коефіцієнт закріплення операцій за формулою:

$$K_{30} = \frac{O_1 + O_2 + O_3 + O_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}, \quad (1.8)$$

$$K_{30} = \frac{82,8 + 240,6 + 179,0 + 118,5}{100 + 100 + 100 + 100} \approx 1,55.$$

Отримане значення K_{30} ($1 < K_{30} < 10$) відповідає крупносерійному виробництву.

1.4. Аналіз публікацій з тематики кваліфікаційної роботи

Основні праці з тематики роботи можна поділити на наступні напрями:

Дослідження процесів різання та формування якості поверхонь

Значна частина досліджень присвячена підвищенню ефективності процесів механічної обробки та забезпеченню необхідної якості оброблених поверхонь. У роботі П.Д. Кривого та співавторів досліджено можливості підвищення продуктивності та якості плоских поверхонь при комбінаційному торцевому фрезеруванні. Авторами розглянуто вплив геометричних параметрів інструмента та режимів різання на формування мікрогеометрії поверхні, що дозволило запропонувати шляхи підвищення ефективності процесу обробки [2].

Особливу увагу питанням формування шорсткості поверхонь приділено в роботах П.Д. Кривого та В.В. Крупи, де розроблено геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні. Запропоновані моделі враховують параметри інструмента, подачу та кінематику процесу різання, що дає можливість прогнозувати параметри шорсткості на стадії проектування технологічного процесу [3, 8, 22].

Проблема технологічної спадковості та забезпечення точності форми циліндричних поверхонь гідроциліндрів досліджувалась у роботі П.Д. Кривого та співавторів. Авторами встановлено закономірності впливу

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попередніх операцій на точність поперечного перерізу поверхонь та визначено основні чинники, що формують похибки обробки [20].

Інструментальне забезпечення процесів розточування та свердління

Важливий напрямок досліджень пов'язаний із розробкою та вдосконаленням конструкцій різального інструменту для оброблення глибоких отворів. У роботі П.Д. Кривого та В.В. Крупи проаналізовано конструктивно-технологічні параметри багаторізцевих розточних головок із радіусними вершинами різців. Запропоновано рекомендації щодо вибору параметрів інструменту для підвищення точності та продуктивності обробки [6].

Подальший розвиток зазначених досліджень представлено у роботі щодо інструментального забезпечення процесу комбінованого розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів. У ній розглянуто особливості конструкції спеціального інструменту, що забезпечує підвищення точності та стабільності процесу оброблення [7].

У дослідженні П.Д. Кривого та співавторів запропоновано методику вимірювання головного заднього кута спіральних свердел, яка дозволяє підвищити точність контролю геометричних параметрів інструмента та забезпечити його ефективну експлуатацію [7].

Проблемі підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів присвячена дисертаційна робота В.Р. Кобельника. Автором розроблено методи регулювання подачі, які забезпечують зменшення навантажень на інструмент, підвищення продуктивності та якості обробки отворів [5, 12].

Суттєвий внесок у розвиток інструментального забезпечення процесів глибокого свердління зроблено у дисертаційній роботі В.В. Крупи, де розроблено металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів. Проведені дослідження підтвердили підвищення точності та зниження динамічних навантажень у процесі різання [10].

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри три-різцевої розточної головки з асиметричним розташуванням різців та розподілом припуску й подачі досліджено у роботі П.Д. Кривого та співавторів. Запропоновані конструктивні рішення дозволяють підвищити точність обробки та покращити умови різання [19].

Дослідження сил різання та статистичне моделювання процесів

Одним із важливих факторів забезпечення точності та ефективності механічної обробки є прогнозування сил різання. У роботі В.В. Крупи, Н.М. Тимошенко, В.Р.Кобельника та І.Петречка запропоновано ймовірнісно-статистичний метод оцінювання впливу подачі на тангенціальну складову сили різання під час точіння. Отримані результати дозволяють підвищити достовірність прогнозування навантажень у процесі різання [4, 18].

Подальший розвиток даний напрям отримав у роботі, присвяченій визначенню впливу подачі на тангенціальну силу різання при повторному свердлінні, зенкеруванні та розточуванні із використанням теорії малих вибірок. Запропонована методика забезпечує підвищення точності оцінювання силових параметрів технологічних процесів [15].

Застосування ітераційних методів для дослідження точності подач металорізальних верстатів розглянуто у роботі В.Р. Кобельника, В.В. Крупи та Н.М. Тимошенко. Автори показали можливість використання математичного моделювання для підвищення точності переміщення робочих органів верстатів [21].

Комп'ютерне моделювання та оптимізація конструкцій.

Сучасний розвиток машинобудування неможливий без застосування комп'ютерних технологій моделювання. У роботі А. Гагалюка та В.В. Крупи виконано моделювання станини токарного верстата методом топологічної оптимізації. Результати дослідження дозволили визначити раціональний розподіл матеріалу конструкції та забезпечити зниження маси при збереженні необхідної жорсткості [11].

Питання математичного моделювання технологічних процесів розглянуто також у роботі В. Шанайди, Р. Склярова та В. Лазарюка.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Авторами розроблено математичні моделі для аналізу параметрів каналів під час планування механічної обробки та зварювальних операцій, що сприяє автоматизації процесів технологічної підготовки виробництва [15].

Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій наведено у роботі Р.А. Склярова, В.В. Шанайди та М.А. Савчука. Отримані результати можуть бути використані для підвищення точності та надійності роботи приводів технологічного обладнання [21].

Оцінювання ресурсу інструменту та забезпечення довговічності деталей.

Актуальним напрямком сучасних досліджень є прогнозування ресурсу різального інструменту. У роботі В.В. Крупи, В.Р. Кобельника та співавторів розроблено метод оцінювання залишкового ресурсу та ефективності використання інструменту на основі аналізу розмірного зношування. Запропонований підхід дозволяє своєчасно визначати необхідність заміни інструменту та підвищувати економічну ефективність виробництва [11].

Питання точності форми та довговічності втулок роликів ланцюгів досліджено у роботі А. Сеника та співавторів. Авторами виконано гармонійно-дисперсійний аналіз точності форми поверхонь, що дозволило оцінити вплив технологічних факторів на якість виробів [12].

Подальший розвиток досліджень пов'язаний із розробленням нової технології виготовлення та експлуатації втулок шкворневих вузлів ходових систем транспортних засобів. Запропонована технологія забезпечує підвищення експлуатаційної довговічності деталей та покращення їх експлуатаційних характеристик [17].

Висновки

Таким чином, аналіз літературних джерел показує, що основними напрямками сучасних досліджень у галузі технології машинобудування є вдосконалення процесів різання, підвищення точності та якості поверхонь, розроблення нових конструкцій різального інструменту, математичне

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моделювання технологічних процесів і прогнозування ресурсу інструменту. Особливе значення мають роботи, присвячені багаторізцевому розточуванню, обробці глибоких отворів, статистичному аналізу сил різання та застосуванню комп'ютерного моделювання для оптимізації конструкцій і технологічних процесів. Отримані результати створюють наукову основу для подальшого розвитку високопродуктивних технологій механічної обробки та забезпечення високої якості машинобудівної продукції.

1.6. Висновки по розділу, постановка мети та завдань роботи

У першому розділі виконано аналіз базової моделі токарного верстата 16М30Ф3141, його конструктивних особливостей, технічних характеристик та технологічних можливостей. Встановлено, що верстат характеризується високою жорсткістю конструкції, значною потужністю головного приводу та можливістю обробки великогабаритних деталей, проте відбувається сучасним часом.

Проведене порівняння з верстатами аналогічного призначення показало, що базова модель має переваги за показниками жорсткості.

У результаті аналізу технологічності деталі «Диск» встановлено, що її конструкція є достатньою технологічною для механічної обробки. На основі техніко-економічного порівняння варіантів отримання заготовок визначено, що найбільш доцільним є використання літньої заготовки, яка забезпечує зниження витрат матеріалу та технології.

Розрахунок типу виробництва показав, що деталі виготовлення створені в умовах крупносерійного виробництва, що обумовлює необхідність застосування високопродуктивного обладнання та раціональних технологічних рішень.

Аналіз сучасних наукових публікацій засвідчив актуальність досліджень, спрямованих на підвищення продуктивності механічної обробки, забезпечення точності та якості поверхні, удосконалення конструкції різального інструменту.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані результати є основою для подальшого проектування технологічного процесу виготовлення деталей «Диск», вибору обладнання, інструментального оснащення та обґрунтування технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є модернізація конструкції токарного верстата з ЧПК для розширення його технологічних можливостей і підвищення точності, а також розробка високоефективного технологічного процесу виготовлення деталі «Диск».

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати технічні характеристики та недоліки базового верстата, обґрунтувати напрямки його модернізації
2. Обґрунтувати вибір матеріалу та розробити оптимальний маршрут виготовлення деталі «Диск» на основі порівняльного техніко-економічного аналізу
3. Розрахувати режими обробки, технологічні припуски, похибки базування та норми часу на операції.
4. Виконати повний кінематичний, силовий та геометричний розрахунок приводу головного руху верстата, включаючи параметри коробки швидкостей, пасової передачі та шпиндельного вузла
5. Провести автоматизований розрахунок шпиндельного вала.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Аналіз та вибір методу виготовлення деталі

Перед вибором методу виготовлення деталі необхідно виконати розрахунок економічної ефективності окремих та обрати з них найраціональніший для даних умов виробництва [37]. Критерієм оптимальності є мінімум приведених затрат на одиницю продукції. Приведені затрати можуть визначатись у вигляді питомих величин на одну годину роботи обладнання. В якості собівартості розглядається технологічна собівартість[25].

Раніше ми визначили, що після відливки заготовки нам потрібно просвердлити отвори, розточити їх, зробити фаски і відшліфувати поверхні до необхідного значення шорсткості. Розглянемо два варіанти виготовлення деталі й оберемо найекономічніший:

а) використання горизонтально-розточувального верстата мод. 2М614, круглошліфовального верстата мод. 3В110. За допомогою першого верстата ми просвердлимо і розточимо отвори, а за допомогою другого – відшліфуємо поверхні.

Для кожного із верстатів знайдемо годинні приведені затрати $C_{пз}$, а потім додамо отримані результати. Для горизонтально-розточувального верстата отримаємо [27]:

$$C_{пз} = C_з + C_{зз} + E_n \cdot (K_в + K_б), \quad (2.1)$$

де $C_з$ – основна і додаткова зарплата з нарахуваннями, грн./год.;

$C_{зз}$ – годинні затрати з експлуатації робочого місця, грн./год.;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень. Приймаємо $E_n=0,15$;

$K_в$ и $K_б$ – питомі годинні капітальні вкладення відповідно у верстат і будівлю, грн./год.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Паращук			ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Крупа В.В.						
Н.конт.		Кобельник В.				ТНТУ, зр.МВс-41		
Затв.		Крупа В.В.						

Знаходимо основну і додаткову заробітну плату з нарахуваннями:

$$C_3 = \varepsilon \cdot C_{тф} \cdot k \cdot y, \quad (2.2)$$

де ε – коефіцієнт, який враховує додаткову зарплату. Приймаємо $\varepsilon=1,53$;

$C_{тф}$ – годинна тарифна ставка верстатника-відрядника, грн./год. Приймаємо $C_{тф}=54,8$ грн./год.;

k – коефіцієнт, який враховує зарплату налагоджувальника. Приймаємо $k=1$;

y – коефіцієнт, який враховує оплату робітника при багатOVERстатному обслуговуванні. Приймаємо $y=1$.

Тоді

$$C_3 = 1,53 \cdot 54,8 \cdot 1 \cdot 1 = 83,84 \text{ грн./год.}$$

Знаходимо годинні затрати з експлуатації робочого місяця:

$$C_{23} = C_{23}^{\text{бн}} \cdot K_M, \quad (2.3)$$

де $C_{23}^{\text{бн}}$ – практичні годинні затрати на базовому робочому місці, коп./год.

Приймаємо $C_{23}^{\text{бн}}=44,6$ грн./год.;

K_M – коефіцієнт, який показує у скільки разів затрати, пов'язані з роботою даного верстата більші, ніж аналогічні витрати у базового верстата. Для горизонтально-розточувального верстата приймаємо $K_M=1,7$.

$$C_{23} = 44,6 \cdot 1,7 = 75,82 \text{ грн./год.}$$

Знаходимо питомі годинні капітальні вкладення у верстат:

$$K_6 = \frac{Ц \cdot 100}{F_d \cdot \eta_3}, \quad (2.4)$$

де $Ц$ – балансова вартість верстата, грн.; для горизонтально-розточувального верстата $Ц=176900$ грн.;

F_d – дійсний річний фонд часу роботи верстата, год.; приймаємо $F_d=2050$ год.;

η_3 – коефіцієнт завантаження верстата. Приймаємо $\eta_3=0,77$.

$$K_6 = \frac{1790 \cdot 100}{2050 \cdot 0,77} = 1120,68 \text{ грн./год.}$$

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаходимо питомі годинні капітальні вкладення в будівлю:

$$K_{\delta} = \frac{F \cdot 78,4 \cdot 100}{F_{\delta} \cdot \eta_3}, \quad (2.5)$$

де F – виробнича площа, яку займає верстат з урахування проходів, m^2 .

Приймаємо для горизонтально-розточувального верстата $F=6 m^2$.

$$K_{\delta} = \frac{6 \cdot 78,4 \cdot 100}{2050 \cdot 0,77} = 29,80 \text{ грн./год.}$$

$$C_{нз}^1 = 83,84 + 75,82 + 0,15 \cdot (1120,68 + 29,8) = 332,24 \text{ грн./год.}$$

Розраховуємо $C_{пз}$ для круглошліфувального верстата:

$$C_3 = 83,84 \text{ грн./год.}$$

$$C_{з3} = 44,6 \cdot 2,5 = 111,5 \text{ грн./год.}$$

$$K_c = \frac{10220 \cdot 100}{2050 \cdot 0,77} = 647,45 \text{ грн./год.}$$

$$K_3 = \frac{6 \cdot 78,4 \cdot 100}{2050 \cdot 0,77} = 29,8 \text{ грн./год.}$$

$$C_{нз}^2 = 83,84 + 111,5 + 0,15 \cdot (647,45 + 29,8) = 296,93 \text{ грн./год.}$$

Знаходимо загальні годинні приведені затрати для двох верстатів:

$$C_{нз} = C_{нз}^1 + C_{нз}^2 = 332,24 + 296,93 = 629,17 \text{ грн./год.};$$

б) використання токарного багатошпindelного вертикального напівавтомата мод. 1К282, алмазно-розточувального напівавтомата мод. 2705В, круглошліфувального верстата мод. 3В110. За допомогою першого напівавтомата будемо свердлити отвори і отримувати фаски, за допомогою другого – розточувати отвори, за допомогою третього – шліфувати поверхні деталі [32, 33, 34].

Знайдемо годинні приведені затрати для токарного багатошпindelного вертикального напівавтомата:

$$C_{\delta} = 83,84 \text{ грн./год.}$$

$$C_{з3} = 44,6 \cdot 2,8 = 124,88 \text{ грн./год.}$$

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{um}^{\Sigma} = (881,92 + 305,28 + 409,88 + 806,10) \cdot 10^{-3} = 2403,18 \cdot 10^{-3} \text{ хв.}$$

$$C_0^I = \frac{629,17 \cdot 2403,18 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 1,3} = 19,385 \text{ грн.}$$

$$C_0^{II} = \frac{970,13 \cdot 2403,18 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 1,3} = 29,890 \text{ грн.}$$

$$E_p = \frac{(29,89 - 19,385) \cdot 100000}{100} = 10505 \text{ грн.}$$

2.2. Обґрунтування вибору матеріалу деталі

Дана деталь “Диск” виконується із чавуну СЧ 15 згідно з ДСТУ. Чавуни відносяться до сплавів залізо-вуглець з вмістом вуглецю більше 2,14%. В залежності від стану вуглецю їх поділяють на білі, сірі, високоміцні і ковкі [25].

Таблиця 2.1 – Види чавунів

Вид чавуну	Внутрішня структура	Механічні властивості	Область застосування	Модифікації
1	2	3	4	5
Білий чавун	Весь вуглець знаходиться у хімічно зв'язаному стані у вигляді карбіду заліза	Висока твердість, крихкість, зносостійкість, практично не піддається обробці різанням	Не знаходить застосування в якості конструкційного матеріалу, використовується для виготовлення виробів, що труться	Відбілені чавуни (поверхневі шари мають структуру білого, а серцевина – структуру сірого чавуну)
Сірий чавун	Весь вуглець знаходиться у вільному стані у вигляді пластинчастого графіту. Можуть мати структуру, яка складається із феритної основи і включень графіту. Містить домішки кремнію, марганцю, фосфору.	Твердість, крихкість, підвищені мацнісні характеристики. Цифра після маркування означає границю міцності чавуну при розтягненні, тобто чавун марки СЧ 15 має $\sigma_b = 150$ Мпа.	Використовується при виготовленні деталей простої конфігурації	Введенні феросиліцію або силікокальцію сприяє утворенню дрібніших графітних включень, що підвищує міцність чавуну
Високоміцний чавун	Під впливом добавок магнію, цезію утворюється кулеподібний графіт	Має вищі механічні властивості	Можуть бути використані замість поковок і відливок з вуглецевої сталі для деталей, які працюють у важких умовах. Можливе використання в якості антифрикційного матеріалу у вузлах тертя	–

Арк.

КРБ 361.00.00.000ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
Ковкий чавун	В результаті тривалого нагрівання при високих температурах білих чавунів отримують графіт у формі пластівців	Має високу корозійну стійкість	Широко використовується у машинобудуванні, так як він дешевший, ніж сталь. З нього виготовляють деталі, які працюють при середній і високих статичних та динамічних навантаженнях.	—

Проаналізувавши таблицю, можна погодитись із доцільністю використання сірого чавуну для виготовлення деталі “Диск”.

2.3. Розробка маршрутно-операційної технології

Операція 005. Заготівельна

- Видалення задирок.
- Візуальний контроль.

Операція 010. Токарна чорнова (установ 1)

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат.

Базування: по зовнішній поверхні заготовки.

Переходи:

1. Підрізати торець.
2. Обточити зовнішній діаметр до $\varnothing 205$ з припуском під чистову обробку.
3. Засвердлити центр.
4. Просвердлити отвір.
5. Розточити отвір до $\varnothing 80$ з припуском.

Операція 015. Токарна чорнова (установ 2)

Базування: по обробленому отвору та торцю.

Переходи:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 361.00.00.000ПЗ				

1. Підрізати другий торець.
2. Витримати загальну товщину деталі.
3. Обточити зовнішні уступи.
4. Розточити ступінчасті отвори.

Операція 020. Токарна чистова

Переходи:

1. Обточити зовнішній діаметр $\varnothing 205$.
2. Обробити посадочний діаметр $\varnothing 192f7$.
3. Розточити отвір $\varnothing 80H11$.
4. Обробити отвір $\varnothing 42H6$.
5. Підрізати торці до остаточних розмірів.
6. Виконати фаски $1,6 \times 45^\circ$.

Операція 025. Свердлильна

Обладнання: вертикально-свердлильний верстат.

Переходи:

1. Розмітити координати отворів.
2. Просвердлити 8 отворів $\varnothing 11$ по колу $\varnothing 250$.
3. Просвердлити 3 отвори $\varnothing 17H7$ по колу $\varnothing 170$.
4. Зняти фаски.

Операція 030. Розточувальна

Переходи:

1. Чистове розточування отвору $\varnothing 42H6$.
2. Контроль співвісності посадкових поверхонь.

Операція 035. Шліфувальна

Обладнання: круглошліфувальний або внутрішньошліфувальний верстат.

Переходи:

1. Шліфувати посадковий діаметр $\varnothing 192f7$.
2. За потреби шліфувати отвір $\varnothing 42H6$.
3. Забезпечити шорсткість поверхонь згідно креслення.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операція 040. Контрольна

Переходи:

1. Контроль діаметрів Ø42H6, Ø80H11, Ø192f7.
2. Контроль биття поверхонь.
3. Контроль розташування отворів на колах Ø170 та Ø250.
4. Контроль шорсткості.
5. Маркування деталі.

Операція 045. Здача на склад готової продукції.

2.4. Вибір обладнання та інструментів

Вибір верстата – одна з найважливіших задач при проектуванні технологічного процесу обробки деталі. Для будь-якої операції завжди можна підібрати відповідний верстат. Присерійному виробництві на одному верстаті, як правило, виконують декілька операцій, тому верстат повинен задовольняти технічні вимоги всіх намічених обробок [28].

Раніше ми визначили, що для отримання деталі “Диск” нам необхідно просвердлити у заготовці отвори, розточувати їх до потрібної шорсткості і відшліфувати поверхні.

Вибір верстатів виходив із його можливості забезпечити точність розмірів та форм деталі, що виготовляється, а також якості її поверхні. Ми обрали горизонтально-розточувальний верстат мод. 2М614 і круглошліфувальний верстат мод. 3В110. Раніше було подано економічне обґрунтування цього вибору.

Горизонтально-розточувальний верстат мод. 2М614 призначений для обробки деталей з точними отворами, які зв’язані між собою точними координатами; для робіт, які вимагають використання радіального супорта при обточуванні торцевих отворів; для робіт, які виконуються висівним шпинделем. На верстаті можна виконувати свердління, зенкерування, розточування

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і розвірчування отворів, фрезерування торців. Параметр шорсткості обробленої поверхні від R_z80 до $R_a1,25$.

Круглошліфувальний верстат мод. 3В110 призначений для шліфування циліндричних та конічних зовнішніх і внутрішніх, а також торцевих поверхонь деталей. Шліфування виробів можна здійснювати у нерухомих центрах, у трикулачковому патроні, у цангах. Параметр шорсткості обробленої поверхні буде залежати від вибраних шліфувальних кругів.

Для свердління отворів будемо використовувати свердла твердосплавні й оснащені пластинами з твердого сплаву згідно ГОСТ.

Для розточування фасок будемо використовувати розточні державочні різці з пластинами з твердого сплаву за ГОСТ.

Для отримання фасок будемо використовувати токарний прохідний прямий різень з пластинами із твердого сплаву за ГОСТ.

Для чорнового шліфування поверхні будемо використовувати шліфувальні алмазні круги марки А8 за ГОСТ.

Для чистового шліфування поверхні будемо використовувати шліфувальні алмазні круги марки 1А1 за ГОСТ.

2.5. Вибір баз і розрахунок похибок базування

Базування – це надання заготовці чи виробу необхідного положення відносно обраної системи координат. Базами можуть служити площини, отвори, зовнішні та внутрішні діаметри, центральні фаски і навіть профільні поверхні, якщо стосовно них слід витримувати розмір, обмежений допуском. За призначенням бази поділяються на конструкторські (основні та допоміжні), технологічні і допоміжні.

Конструкторські бази використовуються для визначення положення деталі у виробі. Технологічні бази використовують в процесі виготовлення чи ремонту для визначення положення заготовки або деталі при обробці відносно інструменту. Технологічними базами заготовка встановлюється у

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБ 361.00.00.000ПЗ

пристосування верстата. Вимірювальні бази використовують при проведенні вимірювань.

При базуванні заготовок і деталей потрібно дотримуватись основних правил: постійність баз, єдність (суміщення) конструкторських, технологічних та вимірювальних баз [35, 36].

Технологічні бази поділяються на чорнові та чистові. Чорнові бази (необроблені поверхні) заготовки дотикаються до установочних елементів пристосування, чистові бази (оброблені поверхні) служать для установки у пристосування.

В якості чорнових баз обирають поверхні:

- які забезпечують стійке положення заготовки у пристосуванні;
- ті, що не обробляються і обробляються з найменшим припуском, від яких задаються розміри чи положення інших оброблюваних поверхонь;
- найчистіші і найточніші;
- ті, що використовуються лише один раз, так як після першої операції з'являються чистіші і точніші поверхні.

У першій технологічній операції необхідно обробляти поверхні, які будуть основними чистовими базами. Це дозволяє забезпечити принцип єдності баз. Для чистових баз обирають поверхні, керуючись такими правилами:

- обрана поверхня повинна використовуватись на всіх технологічних операціях, крім першої;
- при оздоблювальних операціях установка повинна виконуватись на основні бази, щоб при обробці деталь займала те ж положення, що і при роботі у виробі;
- базою повинна бути поверхня, від якої розмір задається з найменшим допуском.

Вибір баз подамо у таблиці 2.2.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спосіб базування відіграє суттєву роль, так як від нього будуть залежати зміщення і похибки при обробці, а отже і якість готової деталі.

Так, при першій схемі базування просторове відхилення заготовки дорівнює:

$$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{зм}^2}, \quad (2.8)$$

де $\rho_{кор}$ – величина короблення оброблюваної поверхні, мм;

$\rho_{зм}$ – зміщення отвору до зовнішньої поверхні відливки, мм.

Величину короблення оброблюваної поверхні можна визначити за формулою:

$$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot D, \quad (2.9)$$

де Δ_k – питома відведення отворів при свердлінні, мкм/мм;

D – зовнішній діаметр, мм.

$$\rho_{кор} = 255 \cdot 0,0013 = 0,332 \text{ мм.}$$

Зміщення отворів до зовнішньої поверхні визначимо за формулою:

$$\rho_{см} = \sqrt{\left(\frac{\delta_B}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_D}{2}\right)^2}, \quad (2.10)$$

де δ_B и δ_D – допуски на розміри B и D , мм.

$$\rho_{см} = \sqrt{\left(\frac{0,13}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,046}{2}\right)^2} = 0,069 \text{ мм.}$$

$$\rho = \sqrt{(0,332)^2 + (0,069)^2} = 0,338 \text{ мм.}$$

Тепер визначимо похибку установки:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2 + \varepsilon_{пр}^2}, \quad (2.11)$$

де $\varepsilon_б$ – похибка базування, мм; так як деталь встановлюється за зовнішнім діаметром, то похибка базування дорівнює допуску на розмір D : $\varepsilon_б=0,046$ мм.;

$\varepsilon_з$ – похибка закріплення, мм. $\varepsilon_з=0,12$ мм.;

$\varepsilon_{пр}$ – похибка положення заготовки у пристосуванні. Приймаємо $\varepsilon_{пр}=0,05$ мм.

Тоді

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 361.00.00.000ПЗ				

$$\varepsilon_y = \sqrt{(0,046)^2 + (0,12)^2 + (0,05)^2} = 0,138 \text{ мм.}$$

Таблиця 2.2 – Схеми базування

Операція	Схема базування
<p>1. Свердління й розточування отворів. Установка в самоцентрувальний патрон за зовнішнім діаметром з притискуванням до торцевої поверхні</p>	
<p>2. Шліфування поверхонь. Установка на штир за внутрішнім діаметром центрального отвору.</p>	

При другій схемі базування похибка виникає через перекос у горизонтальній площині при її встановленні на штир. Перекос відбувається через наявність зазору між найбільшим діаметром центрального отвору і найменшим діаметром штиря.

Найбільший зазор між отвором і штирем дорівнює:

$$S_{\max} = \delta_A + \delta_C + S_{\min}, \quad (2.12)$$

де δ_A – допуск на отвір, мм.;

δ_C – допуск на діаметр штиря, мм.;

S_{\min} – мінімальний зазор між штирем і отвором, мм.

$$S_{\max} = 0,046 + 0,015 + 0,013 = 0,074 \text{ мм.}$$

Найбільший кут повороту заготовки на штирі дорівнює:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S_{\max}}{l}, \quad (2.13)$$

де l – довжина отвору, мм.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,074}{15} = 0,005 \text{ мм.}$$

$$\alpha \approx 0,28^\circ.$$

Похибка базування в даному випадку дорівнює нулю, так як технологічна база співпадає з конструкторською та вимірною. Похибка установки буде дорівнювати:

$$\varepsilon_y = \sqrt{(0,14)^2 + (0,05)^2} = 0,149 \text{ мм.}$$

2.6. Розрахунок припусків на обробку та вибір заготовки

Припуском називають шар матеріалу, який знімають із заготовки для отримання готової деталі. Розрізняють проміжний (операційний) та загальний припуски. Проміжний припуск знімається із заготовки в даній технологічній операції. Загальний припуск дорівнює сумі проміжних припусків, тобто шару матеріалу, який знімається з вихідної заготовки для отримання готової деталі.

Призначення раціональних припусків має важливе техніко-економічне значення. Завищений припуск при обробці різанням приводить до зростання числа проходів і товщини стружки, що знімається, що відповідно викликає зростання зусиль різання, підвищує можливість виникнення значних деформацій деталей в процесі обробки і зменшує точність їх виготовлення, підви-

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 361.00.00.000ПЗ				

щуче зношування інструменту і перевитрати електроенергії. Занижений припуск не дозволяє видаляти дефектний шар матеріалу і отримати необхідну точність і шорсткість оброблюваних поверхонь. Важливо не лише правильно обрати припуск, але й досягнути сталості його розмірів [35].

При визначенні припуску необхідно враховувати конфігурацію та розміри заготовки, призначені методи обробки, характеристику обраного обладнання та його фактичний стан. Допустимі відхилення величини припуску на обробку партії деталей визначаються допуском на припуск, який являє собою різницю між найбільшим та найменшим припуском. Занадто малі допуски ускладнюють обробку, занадто велику – збільшують припуск на наступні операції. Допуск на загальний припуск є одночасно і допуском на заготовку.

Виконаємо розрахунок для поверхні $\varnothing 255h7(-0,046)$. Всі результати будемо заносити в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок припусків отвору $\varnothing 255h7(-0,046)$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 255h7(-0,046)$	Елементи припуску, мкм.				Розрахунковий припуск 2_{zmin} , мкм	Розрахунковий розмір d_p , мкм	Граничний розмір, мм		Значення припуску, мкм		Допуск δ , мм
	R_z	T	ρ	ε			d_{min}	d_{max}	2_{zmin}^{np}	2_{zmax}^{np}	
1. Заготовка	20	140	338	–	–	255,872	255,9	256,7	–	–	0,8
2. Шліфування чорнове	10	20	74	149	446,0	255,406	255,4	255,5	500	1200	0,1
3. Шліфування чистове	3,5	12	74	149	452,4	254,954	254,954	255,000	446	500	0,046

Записуємо в таблицю значення R_z , T, ρ , ε . Значення ρ і ε були розраховані у попередньому пункті, а значення R_z и T беремо з [23].

Далі визначаємо розрахунковий мінімальний припуск на обробку:

$$2_{zmin i} = 2 \cdot (R_{zi} + \rho_i + \varepsilon_i) \quad (2.14)$$

$$2_{zmin 2} = 2 \cdot (R_{z2} + \rho_2 + \varepsilon_2) = 2 \cdot (10 + 74 + 149) = 466,0 \text{ мкм.}$$

$$2_{z \min 3} = 2 \cdot (R_{z3} + \rho_3 + \varepsilon_3) = 2 \cdot (3,2 + 74 + 149) = 452,4 \text{ мкм.}$$

Допуск розмірів заготовки беремо з [25]. Для чорнового шліфування значення допуску дорівнює 100 мкм. Для чистового шліфування значення допуску дорівнює 46 мкм.

Далі для кінцевого переходу в графу “Розрахунковий розмір” заносимо найменший граничний розмір деталі за кресленням. Для переходу, який передує кінцевому, визначаємо розрахунковий розмір додаванням до найменшого граничного розміру за кресленням розрахункового припуску:

$$d_{pi} = d_{pi+1} + 2_{z \min i+1} \quad (2.15)$$

$$d_{p3} = 255 - 0,046 = 254,954 \text{ мм.}$$

$$d_{p2} = d_{p3} + 2_{z \min 3} = 254,954 + 0,452 = 255,406 \text{ мм.}$$

$$d_{p1} = d_{p2} + 2_{z \min 2} = 255,406 + 0,466 = 255,872 \text{ мм.}$$

Записуємо найменші граничні розміри по всіх технологічних переходах, заокруглюючи їх до того знаку десяткового дробу, з яким даний допуск на розмір для кожного переходу.

Визначаємо найбільші граничні розміри додаванням допуску до заокругленого найменшого граничного розміру:

$$d_{\max i} = d_{\min i} + \delta_i \quad (2.16)$$

$$d_{\max 3} = d_{\min 3} + \delta_3 = 254,954 + 0,046 = 255 \text{ мм.}$$

$$d_{\max 2} = d_{\min 2} + \delta_2 = 255,4 + 0,1 = 255,5 \text{ мм.}$$

$$d_{\max 1} = d_{\min 1} + \delta_1 = 255,9 + 0,8 = 256,7 \text{ мм.}$$

Записуємо граничні значення припусків $2_{z \max}^{np}$ як різницю найбільших граничних розмірів і $2_{z \min}^{np}$ - як різницю найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів:

$$2_{z \max i}^{np} = d_{\max i-1} - d_{\max i} \quad (2.17)$$

$$2_{z \max 3}^{np} = d_{\max 2} - d_{\max 3} = 255,5 - 255 = 0,5 \text{ мм.}$$

$$2_{z \max 2}^{np} = d_{\max 1} - d_{\max 2} = 256,7 - 255,5 = 1,2 \text{ мм.}$$

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z_{z \min 3}^{np} = d_{\min 2} - d_{\min 3} = 255,4 - 254,954 = 0,446 \text{ мм.}$$

$$z_{z \min 2}^{np} = d_{\min 1} - d_{\min 2} = 255,9 - 255,4 = 0,5 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальні припуски, додаючи проміжні припуски на обробку:

$$z_{0 \max} = 0,5 + 1,2 = 1,7 \text{ мм.}$$

$$z_{0 \min} = 0,446 + 0,5 = 0,946 \text{ мм.}$$

Розраховуємо загальний номінальний припуск:

$$z_{0 \text{НОМ}} = z_{0 \min} + H_z + H_d, \quad (2.18)$$

де H_z – нижнє відхилення розміру заготовки, $H_z=0,5$ мм;

H_d – нижнє відхилення розміру діаметра, $H_d=0,046$ мм.

$$z_{0 \text{НОМ}} = 0,946 + 0,5 + -0,046 = 1,4 \text{ мм.}$$

Розраховуємо номінальний діаметр заготовки:

$$d_{\text{НОМ}} = d_{\min 3} + z_{0 \text{НОМ}} \quad (2.19)$$

$$d_{\text{НОМ}} = 254,954 + 1,4 = 256,354 \text{ мм.}$$

Виконуємо перевірку правильності виконання розрахунків:

$$z_{z \max i}^{np} - z_{z \min i}^{np} = \delta_{i-1} - \delta_i \quad (2.20)$$

$$z_{z \max 3}^{np} - z_{z \min 3}^{np} = 500 - 446 = 54 \text{ мкм.}$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 100 - 46 = 54 \text{ мкм.}$$

$$z_{z \max 2}^{np} - z_{z \min 2}^{np} = 1200 - 500 = 700 \text{ мкм.}$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 800 - 100 = 700 \text{ мкм.}$$

Подамо схему розміщення припусків і допусків на обробку поверхні $\text{Ø}255\text{h}7(-0,046)$ (див. рис. 2.1).

На решту оброблюваних поверхонь припуски і допуски призначаємо за таблицями.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

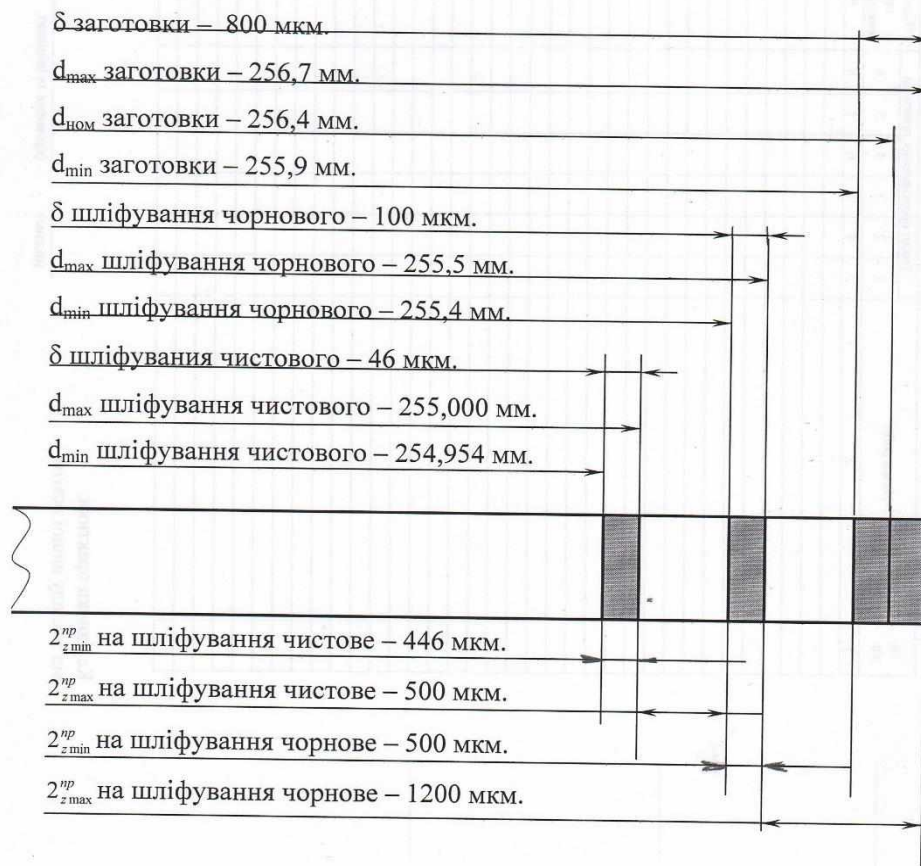


Рисунок 2.1 - Схема розміщення припусків і допусків на обробку поверхні $\text{Ø}255\text{h}7(-0,046)$

Таблиця 2.4 – Припуски і допуски на поверхні деталі “Диск”

Розмір	Припуски, мкм.	Допуски, мкм.
Ø11	200	± 0,027
Ø17	345	+ 0,018
Ø42	638	+ 0,016
Ø80	912	+ 0,19
Ø192	1054	+0,050 -0,096
Ø205	1100	+ 0,29
10	185	± 0,22
30	470	+ 0,13

2.7. Нормування технологічних операцій

Технічні норми часу в умовах масового та серійного виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним методом [25,38]. В серійному виробництві визначається норма штучно-калькуляційного часу $T_{ш-к}$ за формулою:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{пз}}{n} + T_{пз} , \quad (2.21)$$

де $T_{пз}$ – підготовчо-заклучний час, хв;

n – кількість деталей в партії, шт.;

$T_{шт}$ – норма штучного часу, хв.

Норму штучного часу можна визначити за формулою:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{об} + T_{відп} , \quad (2.22)$$

де T_o – основний час, хв.;

T_d – допоміжний час, хв.;

$T_{об}$ – час на обслуговування робочого місця, хв.;

$T_{відп}$ – час перерв на відпочинок і особисті потреби, хв.

Допоміжний час визначається за формулою:

$$T_d = T_{ус} + T_{зо} + T_{уп} + T_{вим} , \quad (2.23)$$

де $T_{ус}$ – час на установку і зняття деталі, хв.;

$T_{зо}$ – час на закріплення і відкріплення деталі, хв.;

$T_{уп}$ – час на прийоми управління, хв.;

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, хв.

Час на обслуговування робочого місця визначається за формулою:

$$T_{об} = T_{тех} + T_{орг} , \quad (2.24)$$

де $T_{тех}$ – час на технічне обслуговування робочого місця, хв.;

$T_{орг}$ – час на організаційне обслуговування, хв.

Час на технічне обслуговування визначається за формулами:

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

➤ для свердлильної і токарної операції:

$$T_{mex} = \frac{T_0 \cdot t_{зм}}{T}, \quad (2.25)$$

де $t_{см}$ – час на зміну інструменту і під наладку верстата, хв.;

T – період стійкості при роботі одним інструментом або розрахунковий період стійкості лімітую чого інструменту при багато інструментальній обробці, хв.;

➤ для шліфувальної операції:

$$T_{mex} = \frac{T_0 \cdot t_n}{T}, \quad (2.26)$$

де t_n – час на одну правку шліфувального круга, хв.

Операційний час $T_{оп}$ визначається за формулою:

$$T_{оп} = T_o + T_v \quad (2.27)$$

Далі виконуємо розрахунок для всіх технологічних операцій.

Штучний час визначається як сума оперативного часу, часу обслуговування робочого місця та часу на відпочинок і особисті потреби. Для розрахунку прийнято: $T_{тех} = 1,5\% T_{оп}$; $T_{орг} = 1,5\% T_{оп}$; $T_{відп} = 6\% T_{оп}$.

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

$$T_{ш-к} = T_{шт} + T_{пз} / n,$$

де $T_{пз}$ – підготовчо-завершальний час, n – розмір партії деталей.

Розрахунок по операціях

005 Токарна чорнова.

Прийнято: $T_o=0.85$ хв, $T_v=0.15$ хв, $T_{оп}=0.03$ хв. Після врахування часу обслуговування та відпочинку отримано $T_{шт}=1.28$ хв, $T_{ш-к}=1.39$ хв.

010 Токарна чистова.

Прийнято: $T_o=1.1$ хв, $T_v=0.15$ хв, $T_{оп}=0.03$ хв. Після врахування часу обслуговування та відпочинку отримано $T_{шт}=1.6$ хв, $T_{ш-к}=1.74$ хв.

015 Свердлильна (8 отв. Ø11).

Прийнято: $T_o=0.7$ хв, $T_v=0.14$ хв, $T_{оп}=0.028$ хв. Після врахування часу обслуговування та відпочинку отримано $T_{шт}=1.08$ хв, $T_{ш-к}=1.18$ хв.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 361.00.00.000ПЗ				

020 Розточувальна.

Прийнято: $T_o=0.55$ хв, $T_b=0.12$ хв, $T_{оп}=0.024$ хв. Після врахування часу обслуговування та відпочинку отримано $T_{шт}=0.864$ хв, $T_{ш-к}=0.95$ хв.

025 Шліфувальна Ø192f7.

Прийнято: $T_o=0.5$ хв, $T_b=0.12$ хв, $T_{оп}=0.024$ хв. Після врахування часу обслуговування та відпочинку отримано $T_{шт}=0.914$ хв, $T_{ш-к}=1.02$ хв.

030 Контрольна.

Прийнято: $T_o=0.25$ хв, $T_b=0.08$ хв, $T_{оп}=0.016$ хв. Після врахування часу обслуговування та відпочинку отримано $T_{шт}=0.416$ хв, $T_{ш-к}=0.45$ хв.

Таблиця 2.5 - Зведена таблиця норм часу

Операція	T_o	T_b	$T_{оп}$	$T_{об}$	$T_{от}$	$T_{шт}$	$T_{тех}$	$T_{орг}$	$T_{обс}$	$T_{відп}$	$T_{ш-к}$
005 Токарна чорнова	0.85	0.15	0.03	0.08	0.17	1.28	0.019	0.018	0.037	0.077	1.39
010 Токарна чистова	1.1	0.15	0.03	0.1	0.22	1.6	0.024	0.022	0.046	0.096	1.74
015 Свердлильна (8 отв. Ø11)	0.7	0.14	0.028	0.07	0.14	1.08	0.016	0.015	0.031	0.065	1.18
020 розточувальна. Ø17H7)	0.55	0.12	0.024	0.06	0.11	0.864	0.013	0.012	0.025	0.052	0.95
025 Шліфувальна Ø192f7	0.5	0.12	0.024	0.04	0.23	0.914	0.009	0.012	0.021	0.055	1.02
030 Контрольна	0.25	0.08	0.016	0.02	0.05	0.416	0.006	0.006	0.012	0.025	0.45

Таким чином, у результаті нормування встановлено штучно-калькуляційний час для кожної операції технологічного процесу. Найбільш трудомісткою є чистова токарна обробка, оскільки на ній формуються основні посадочні поверхні деталі. Отримані норми часу можуть бути використані для розрахунку виробничої програми, завантаження обладнання та визначення собівартості виготовлення деталі.

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Кінематичний розрахунок приводу головного руху

Для виготовлення деталі-представника, а також інших деталей необхідно забезпечити виконання такі операцій: підрізування торців, центрування, точіння, різенарізання.

На токарному патронно-центровому верстаті з ЧПК моделі 16М30Ф3141 можна виконати всі ці операції. На базі цього верстата розробляємо новий, який має ширший діапазон частот обертання шпинделя [30].

3.1.1. Вибір основних геометричних параметрів верстата

Найбільший діаметр обробки $D_{\max} = 200$ мм;

Висота центрів $H = 125$ мм;

Найменший діаметр обробки $\frac{D_{\max}}{D_{\min}} \leq 5 \dots 6 \Rightarrow D_{\min} \geq \frac{D_{\max}}{5 \dots 6}$;

$D_{\min} 200 / 5 \dots 6 = 33,3 \dots 40$ мм

Приймаємо $D_{\min} = 40$ мм.

3.1.2. Розрахунок технологічних характеристик

Таблиця 3.1 – Значення швидкостей різання, які рекомендуються при токарній обробці деталей із конструкційних сталей

Види робіт	Матеріал інструменту	V, м/хв
Зовнішнє точіння чорнове	твердий сплав	60...120
Зовнішнє точіння чорнове	швидкоріз. сталь	35...50
Зовнішнє точіння чистове	твердий сплав	140.. 200
Свердління	швидкоріз. сталь	18...25
Нарізування різі	швидкоріз. сталь	15...25

					КРБ 361.00.00.000ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ					
Розробив	Паращук							Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив	Крупа В.В.									
Н.конт.	Кобельник В.Р.							ТНТУ, гр.МВс-41		
Затв.	Крупа В.В.									

Визначення найбільшої і найменшої частот обертання шпинделя [27, 38]:

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot V_{\min}^{B.P.}}{\pi \cdot D_{\max}} = \frac{1000 \cdot 25}{\pi \cdot 20} = 39,8 \approx 40 \text{ об/хв}$$

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot V_{\max}^{T.C.}}{\pi \cdot D_{\min}} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 40} = 1591,5 \approx 1600 \text{ об/хв}$$

Розрахункову частоту обертання шпинделя можна визначити за формулою:

$$n_{\text{розр.}} = n_{\min} \cdot 3 \div 4 \sqrt{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = 40 \cdot 3 \div 4 \sqrt{\frac{1600}{40}} = 101 \dots 137 \text{ об/хв}$$

де n_{\max} , n_{\min} - граничні значення частот обертання шпинделя, об/хв.

Приймаємо $n_{\text{розр.}} = 120 \text{ об/хв} = 2 \text{ об/с}$.

За нормаллю верстатобудування вибираємо $\varphi=1,12$, так як такий знаменник геометричного ряду застосовується у автоматах, де потрібна точна настройка на заданий режим.

Визначаємо число швидкостей шпинделя:

$$z_{\text{кш}} = \frac{\lg D_{\text{кш}}}{\lg \varphi} + 1,$$

де $D_{\text{кш}}$ – діапазон регулювання коробки швидкостей,

$$D_{\text{кш}} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{1600}{40} = 40,$$

$$z_{\text{кш}} = \frac{\lg 40}{\lg 1,12} + 1 = 34.$$

Визначаємо діапазон регулювання частот обертання шпинделя з постійною потужністю:

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_{ксп} = \frac{n_{max}}{n_{розр}} = \frac{1600}{120} = 13.$$

Визначаємо ефективну потужність, яка потрібна для різання:

$$N_{ef} = 2\pi \cdot M_{кр} \cdot n_{розр},$$

де $M_{кр}$ – крутний момент на шпинделі, Нм;

$n_{розр}$ – розрахункова частота обертання шпинделя, об/с.

Визначаємо крутний момент на шпинделі за формулою:

$$M_{кр} = P_z \cdot \frac{d}{2}$$

де P_z – тангенціальна складова сили різання, Н;

d – діаметр оброблюваного виробу, м.

$$d = 0,7HD_{max} = 0,7 \cdot 200 = 140 \text{ мм} = 0,14 \text{ м.}$$

$$P_z = P_{Zтабл} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

де $P_{Zтабл}$ – табличне значення тангенціальної складової;

$$P_{Zтабл} = 6900 \text{ Н};$$

K_1, K_2 – коефіцієнти.

Тоді

$$P_z = 6900 \cdot 1 \cdot 1 = 6900 \text{ Н.}$$

$$M_{кр} = 6900 \cdot \frac{0,14}{2} = 483 \text{ Нм}$$

$$N_{ef} = 2\pi \cdot 483 \cdot 2 = 6070 \text{ Вт}$$

Потужність електродвигуна приводу головного руху:

$$N = \frac{N_{ef}}{\eta}$$

де η – КПД коробки швидкостей, $\eta = 0,75 \dots 0,85$;

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = \frac{6070}{0,85} = 7141 \text{ Вт}.$$

Попередній підбір електродвигуна [38]:

За каталогом вибираємо двигун постійного струму 2ПФ180МУХЛ4:

- потужність $P = 9 \text{ кВт}$;
- нормальна напруга $U = 440 \text{ В}$;
- номінальна частота обертання $n_{\text{ном}} = 750 \text{ об/хв}$;
- максимальна частота обертання $n_{\text{max}} = 1850 \text{ об/хв}$;
- мінімальна частота обертання $n_{\text{min}} = 100 \text{ об/хв}$.

Визначаємо діапазон регулювання двигуна з постійною потужністю:

$$D_{\text{дв}} = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{ном}}} = \frac{1850}{750} = 2,5 \approx 3$$

Визначаємо діапазон перемикання в групі передач:

$$D_{\text{пер}} = \frac{i_{\text{max}}}{i_{\text{min}}} = \frac{2}{0,25} = 8.$$

(границі передаточних відношень в групі передач $0,25 \leq i \leq 2$).

Визначаємо кількість ступенів швидкості механічної коробки швидкостей:

$$z_k = \frac{\lg D_{\text{ксп}} - \lg D_{\text{дв}}}{\lg D_{\text{пер}}} + 1 = \frac{\lg 13 - \lg 3}{\lg 8} + 1 = 1,7.$$

Приймаємо $z_k = 2$.

3.1.3. Визначення передаточного числа і числа зубів зубчастих коліс коробки швидкостей

Визначимо максимальну частоту обертання ²² вала, маючи значення $i_3 = 2$:

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{II \max} = \frac{n_z}{i_3} = \frac{1600}{2} = 800 \text{ об/хв}$$

Нанесемо передаточне відношення i_3 на графік частот.

Задавшись передаточним відношенням $i_0 = 0,5$, знайдемо максимальну частоту обертання ² вала:

$$n_{I \max} = n_{\text{дв max}} \cdot i_0 = 1850 \cdot 0,5 = 925 \text{ об/хв}$$

За графіком визначимо i_1 та i_2 .

Визначимо частоту обертання шпинделя при максимальній частоті обертання двигуна і мінімальному передаточному відношенні коробки швидкостей:

$$n_{\min} = n_{\text{дв max}} \cdot i_0 \cdot i_1 \cdot i_2 = 1850 \cdot 0,5 \cdot 0,567 = 525 \text{ об/хв}$$

Визначимо частоту обертання ²² вала при вмиканні на шпинделі розрахункової частоти:

$$n_{II \min p} = \frac{n_{\text{розр}}}{i_2} = \frac{120}{0,567} = 212 \text{ об/хв}$$

При цьому двигун повинен забезпечити частоту

$$n_{\text{дв}} = \frac{n_{II \min p}}{i_0 \cdot i_1} = \frac{212}{0,5 \cdot 0,797} = 532 \text{ об/хв}$$

Визначимо частоту обертання двигуна при вмиканні n_{\min} :

$$n_{I \min} = \frac{n_1}{i_0 \cdot i_1 \cdot i_2} = \frac{40}{0,5 \cdot 0,797 \cdot 0,567} = 177 \text{ об/хв}$$

Виражаємо передаточні відношення через знаменник φ :

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$i_0 = \varphi^{-6} = 0,5$ - пасова передача з вала двигуна на ² вал коробки швидкостей;

$i_1 = \varphi^{-2} = 0,797$ – понижуюча передача з I вала на II вал коробки;

$i_2 = \varphi^{-5} = 0,567$ - понижуюча передача з II вала на III вал (шпindelь);

$i_3 = \varphi^{+6} = 2$ - передача з II вала коробки швидкостей на III вал (шпindelь).

Виходячи із передаточного відношення, визначаємо стандартні значення чисел зубів зубчастих коліс.

Таблиця 3.2- Значення чисел зубів зубчастих коліс

Параметр	$i_1 = \varphi^{-2}$	$i_2 = \varphi^{-5}$	$i_3 = \varphi^{+6}$
Z_1/Z_2	42/53	34/61	53/26
$\sum Z$	95	95	79

3.2. Силовий розрахунок приводу головного руху

3.2.1. Розрахунок коробки швидкостей

Найважливішими задачами, які повинні вирішуватись при розрахунку та конструюванні коробок швидкостей, є [32-35]:

- підвищення ККД;
- підвищення навантажувальної здатності деталей та надійності їх роботи;
- спрощення конструкції й технології виготовлення деталей, підвищення точності і плавності ходу, особливо важко навантажених і швидкохідних зубчастих передач;
- покращення динамічних властивостей зубчастих коліс, валів тощо.

Ці показники і характеристики взаємопов'язані, тому слід мати на увазі, що покращення одних показників може викликати погіршення інших.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.1. Розрахунок потужності на валах коробки швидкостей

Ефективна потужність різання $N_{ef} = 6,070$ кВт.

Визначимо значення потужностей на валах коробки швидкостей:

$$N_{III} = \frac{N_{ef}}{\eta_{пк} \cdot \eta_{зп}} = \frac{6070}{0,995 \cdot 0,95} = 6422 \text{ Вт}$$

де $\eta_{зп} = 0,95$ – ККД зубчастої передачі;

$\eta_{пк} = 0,995$ – ККД підшипників кочення.

$$N_{II} = \frac{N_{III}}{\eta_{пк} \cdot \eta_{зп}} = \frac{6422}{0,995 \cdot 0,95} = 6794 \text{ Вт}$$

$$N_{I} = \frac{N_{II}}{\eta_{пк} \cdot \eta_{зп}} = \frac{6794}{0,995 \cdot 0,95} = 7187 \text{ Вт}$$

$$N = \frac{N_{I}}{\eta_{пк} \cdot \eta_{пп}} = \frac{7187}{0,995 \cdot 0,985} = 7333 \text{ Вт}$$

де $\eta_{пп} = 0,985$ – ККД пасової передачі;

$\eta_{пк} = 0,995$ – ККД підшипників кочення.

Уточнений ККД коробки швидкостей:

$$\eta_{КС} = \eta_{пк}^4 \cdot \eta_{зп}^3 \cdot \eta_{пп} = 0,995^4 \cdot 0,95^3 \cdot 0,985 = 0,828$$

Потужність, яку споживає електродвигун:

$$N_{e.дв} = \frac{N_{ef}}{\eta_{КС}} = \frac{6070}{0,828} = 7331 \text{ Вт}$$

3.2.2. Розрахунок крутних моментів на валах коробки швидкостей

$$M_{III} = \frac{N_{III} \cdot i_3 \cdot 60}{2\pi \cdot n_{розр}} = \frac{6422 \cdot 2 \cdot 60}{2\pi \cdot 120} = 1022 \text{ Нм}$$

$$M_{II} = \frac{N_{II} \cdot i_2 \cdot 60}{2\pi \cdot n_{розр}} = \frac{6794 \cdot 0,567 \cdot 60}{2\pi \cdot 120} = 306 \text{ Нм}$$

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_1 = \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot 60}{2\pi \cdot n_{розр}} = \frac{7187 \cdot 0,797 \cdot 60}{2\pi \cdot 120} = 456 \text{ Нм}$$

$$M = \frac{N \cdot i_0 \cdot 60}{2\pi \cdot n_{розр}} = \frac{7333 \cdot 0,5 \cdot 60}{2\pi \cdot 120} = 292 \text{ Нм}$$

3.2.3. Визначення модулів зубчастих коліс коробки швидкостей

Для сталевих прямозубих коліс модуль визначаємо за формулою [37]:

$$m_{нов} = \frac{100}{Z} \cdot \sqrt[3]{\left[\frac{6800}{\sigma_{нов}}\right]^2 \cdot \frac{i \pm 1}{i \cdot \psi_0} \cdot \frac{\kappa \cdot N}{n_{розр}}}$$

де $\sigma_{нов}$ - допустимі напруження по втомі поверхневих шарів;

N - потужність вала, на якому розташоване менше (ведуче) колесо, кВт;

$n_{розр}$ – розрахункова частота обертання ведучого колеса, при якій передається повна потужність, об/хв;

Z - число зубів шестерні (малого, ведучого колеса);

i - передаточне число (приймається $i \geq 1$), тобто для понижуючих передач береться величина, обернена передаточному відношенню);

$\psi_0 = 0,7 \dots 1,6$ при симетричному розташуванні шестерні та жорстких валах;

κ – коефіцієнт навантаження. При попередніх розрахунках можна прийняти $\kappa = 1,2 \dots 1,4$.

Модуль для передач з передаточним відношенням $i = 0,797$:

$$m_{нов} = \frac{100}{42} \cdot \sqrt[3]{\left[\frac{6800}{10^5}\right]^2 \cdot \frac{1,25}{1,25 \cdot 1,2} \cdot \frac{1,2 \cdot 7187}{120}} = 2,38 \cdot \sqrt[3]{0,0028} = 0,33 \text{ см}$$

$Z = 42$ – число зубів шестерні;

$\kappa = 1,2$ - коефіцієнт навантаження;

$N = 7187$ Вт – потужність, що передається;

$n = 120$ об/хв – розрахункова частота обертання шестерні;

$i = 1,25$ – передаточне число;

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\sigma_{\text{пов}} = 10^5 \text{ Н/см}^2$ – допустиме напруження за втомою поверхневих шарів;
 $\psi_0 = 1,2$.

Приймаємо для даного зачеплення $m = 3 \text{ мм}$.

Модуль для передачі з передаточним відношенням $i = 0,567$:

$$m_{\text{нов}} = \frac{100}{34} \cdot \sqrt[3]{\left[\frac{6800}{10^5}\right]^2} \cdot \frac{1,76}{1,76 \cdot 1,2} \cdot \frac{1,2 \cdot 6794}{120} = 2,94 \cdot \sqrt[3]{0,0026} = 0,4 \text{ см}$$

$Z = 34$ – число зубів шестерні;

$k = 1,2$ - коефіцієнт навантаження;

$N = 6794 \text{ Вт}$ – потужність, яка передається;

$n = 120 \text{ об/хв}$ - розрахункова частота обертання шестерні;

$i = 1,76$ – передаточне число;

$\sigma_{\text{пов}} = 10^5 \text{ Н/см}^2$ – допустиме напруження за втомою поверхневих шарів;
 $\psi_0 = 1,2$.

Приймаємо для даного зачеплення $m = 4 \text{ мм}$.

Модуль для передачі з передаточним відношенням $i = 2$:

$$m_{\text{нов}} = \frac{100}{53} \cdot \sqrt[3]{\left[\frac{6800}{10^5}\right]^2} \cdot \frac{1}{1 \cdot 1,2} \cdot \frac{1,2 \cdot 6422}{120} = 1,89 \cdot \sqrt[3]{0,0025} = 0,255 \text{ см}$$

$Z = 53$ – число зубів шестерні;

$k = 1,2$ - коефіцієнт навантаження;

$N = 6422 \text{ Вт}$ – – потужність, яка передається;

$n = 120 \text{ об/мин}$ – розрахункова частота обертання шестерні;

$i = 1$ – передаточне число;

$\sigma_{\text{пов}} = 10^5 \text{ Н/см}^2$ – допустиме напруження за втомою поверхневих шарів;
 $\psi_0 = 1,2$.

Приймаємо для даного зачеплення $m = 2,5 \text{ мм}$.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	9 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.4. Визначення геометричних параметрів зубчастих коліс

За отриманими значеннями модулів розраховуємо геометричні параметри зубчастих коліс [27].

Визначимо ділильні діаметри за формулою:

$$D_d = mHZ:$$

$$Z = 42 \quad D_d = 3 \text{ Н } 42 = 126 \text{ мм}$$

$$Z = 53 \quad D_d = 3 \text{ Н } 53 = 159 \text{ мм}$$

$$Z = 34 \quad D_d = 4 \text{ Н } 34 = 136 \text{ мм}$$

$$Z = 61 \quad D_d = 4 \text{ Н } 61 = 244 \text{ мм}$$

$$Z = 53 \quad D_d = 2,5 \text{ Н } 53 = 132,5 \text{ мм}$$

$$Z = 26 \quad D_d = 2,5 \text{ Н } 26 = 65 \text{ мм.}$$

Визначимо діаметри вершин за формулою:

$$D_{\text{вер}} = D_d + 2m:$$

$$Z = 42 \quad D_{\text{вер}} = 126 + 2 \text{ Н } 3 = 132 \text{ мм}$$

$$Z = 53 \quad D_{\text{вер}} = 159 + 2 \text{ Н } 3 = 165 \text{ мм}$$

$$Z = 34 \quad D_{\text{вер}} = 136 + 2 \text{ Н } 4 = 144 \text{ мм}$$

$$Z = 61 \quad D_{\text{вер}} = 244 + 2 \text{ Н } 4 = 252 \text{ мм}$$

$$Z = 53 \quad D_{\text{вер}} = 132,5 + 2 \text{ Н } 2,5 = 137,5 \text{ мм}$$

$$Z = 26 \quad D_{\text{вер}} = 65 + 2 \text{ Н } 2,5 = 70 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметри впадин за формулою:

$$D_{\text{вп}} = D_d - 2,5m:$$

$$Z = 42 \quad D_{\text{вп}} = 126 - 2,5 \text{ Н } 3 = 118,5 \text{ мм}$$

$$Z = 53 \quad D_{\text{вп}} = 159 - 2,5 \text{ Н } 3 = 151,5 \text{ мм}$$

$$Z = 34 \quad D_{\text{вп}} = 136 - 2,5 \text{ Н } 4 = 126 \text{ мм}$$

$$Z = 61 \quad D_{\text{вп}} = 244 - 2,5 \text{ Н } 4 = 234 \text{ мм}$$

$$Z = 53 \quad D_{\text{вп}} = 132,5 - 2,5 \text{ Н } 2,5 = 126,25 \text{ мм}$$

$$Z = 26 \quad D_{\text{вп}} = 65 - 2,5 \text{ Н } 2,5 = 58,75 \text{ мм}$$

Визначимо ширину зубчатого вінця за формулою:

$$b = 10 \text{ Н } m:$$

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	10 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для першої пари зубчастиз коліс $42/53 \ b = 10 \ \text{H} \ 3 = 30$,

для коліс $34/61 \ b = 10 \ \text{H} \ 4 = 40$,

для коліс $53/26 \ b = 10 \ \text{H} \ 2,5 = 25$.

3.2.5. Визначення діаметрів валів

Попередній розрахунок діаметрів валів [28]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T_{\text{расч}}}{0,2[\tau]}}$$

де $T_{\text{розр}}$ – розрахунковий крутний момент на валу, Нм;

$[\tau]$ – допустимі напруження 15...30 МПа, менше значення стосується вхідних валів, а більше – до вихідних.

$$\text{Для вала I: } d_1 = \sqrt[3]{\frac{456 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 15}} = 53 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр вала $d_1 = 55$ мм.

$$\text{Для вала II: } d_2 = \sqrt[3]{\frac{306 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 20}} = 43 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр вала $d_2 = 45$ мм.

3.3. Розрахунок пасової передачі

Для передачі крутного моменту від електродвигуна крутного моменту від електродвигуна до вала коробки швидкостей використовується зубчаста пасова передача [37].

Вихідні дані:

$N = 7,333$ кВт – потужність, яка передається пасом;

$n = 1850$ об/хв – частота обертання ведучого шківів;

									1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБ 361.00.00.000ПЗ

$i = 0,5$ – передаточне відношення.

Попередньо вибираємо модуль передачі:

$$m = 30 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}}, \text{ мм}$$

$$m = 30 \cdot \sqrt[3]{\frac{7,333}{1850}} = 4,7 \text{ мм}$$

Приймаємо $m = 5$ мм.

Число зубів ведучого шківів:

$$z_1 = D_1 / m ,$$

де D_1 - діаметр ведучого шківів, мм.

$$z_1 = 100/5 = 20.$$

Колова швидкість паса:

$$V = \pi \cdot D_1 \cdot n = \pi \cdot 0,1 \cdot (1850/60) = 10 \text{ м/с}$$

Допустима питома колова сила, яка передається пасом:

$$[K] = [K]_0 / C_p - qv^2,$$

де $[K]_0$ – допустима питома сила, Н/мм; $[K]_0 = 30$ Н/мм;

C_p – коефіцієнт динамічності навантаження і режиму роботи;

$$C_p = 1,7;$$

qv^2 - відцентрова сила, яка виникає при проходженні пасом шківів,
 $q=0,007$.

$$[K] = 30/1,7 - 0,007 \cdot 10^2 = 30 \text{ Н/мм.}$$

Розрахункова колова сила, яка передається пасом:

$$F_t = N/v = 7333/10 = 733 \text{ Н.}$$

Розрахункова ширина паса:

$$b \geq F_t / [K] = 733/30 = 24,4 \text{ мм.}$$

Заокруглюємо до стандартного значення: $b = 25$ мм.

Параметри веденого шківів:

$D_2 = 200$ мм - діаметр веденого шківів;

$$z_2 = D_2 / m = 200/5 = 40.$$

Міжосьова віддаль передачі приймається з умови:

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	14	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$a \geq 0,5(D_2 + D_1) + (2...3)m$$

$$a = 0,5(200 + 100) + (2...3) \cdot 5 = 160...165 \text{ мм.}$$

Приймаємо $a = 170$ мм.

Визначимо розрахункову довжину паса у кроках:

$$L_p = \frac{2a}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left[\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right]^2 \frac{p}{a}$$

де p – крок паса, мм; для $m = 5$ $p = 15,71$ мм.

$$L_p = \frac{2 \cdot 170}{15,71} + \frac{20 + 40}{2} + \left[\frac{40 - 20}{2\pi} \right]^2 \frac{15,71}{170} = 53$$

Заокруглюємо до стандартного: $L_p = 56$.

Кінцеве значення a при обраній довжині паса визначається як:

$$a = \frac{p}{4} \left[L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\left(L_p - \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 - 8 \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right]$$

$$a = \frac{15,71}{4} \left[56 - \frac{20 + 40}{2} + \sqrt{\left(56 - \frac{40 - 20}{2\pi} \right)^2 - 8 \left(\frac{40 - 20}{2\pi} \right)^2} \right] = 307 \text{ мм.}$$

3.4. Розрахунок шпindelного вузла

Шпindelний вузол металорізальних верстатів призначений для здійснення головного обертового руху шпindelя з необхідною частотою обертання. У шпindelних вузлах виконуються закріплення й обертання заготовки та забезпечується задане їх положення стосовно інших вузлів верстата.

Конструкція шпindelного вузла повинна бути такою, щоб поряд з виконанням комплексу технологічних команд досягалось збереження точності обертання шпindelя, яке виключає осьове й торцеве биття, а також сумарної жорсткості всього вузла для попередження деформування. Конструктивна форма шпindelя визначається типом і призначенням верстата, вимогами до його точності, умовами роботи шпindelя, способами

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

закріплення в ньому заготовки, розміщенням елементів приводу й типом застосовуваних опор [25, 35].

Вихідні дані:

- потужність приводу головного руху $P = 9$ кВт;
 - максимальна частота обертання шпинделя $n_{\max} = 1600$ об/хв;
 - розрахункова частота обертання шпинделя $n_{\text{расч}} = 120$ об/хв;
 - клас точності верстата – II;
- параметр шорсткості обробленої поверхні $R_a = 20$ мкм.

Шпиндельний вузол повинен забезпечити шорсткість $R_a = 20$ мкм. Задану шорсткість забезпечують всі види опор. В якості опор вибираємо підшипники кочення, як найпоширеніші і які дозволяють отримати шорсткість $R_a \leq 20$ мкм.

За виразом визначаємо діаметр шийки шпинделя під передню опору:

$$d = \frac{P}{0,1 \div 0,35}.$$

Підставивши задані значення $P = 9$ кВт, отримаємо $d = 90 \div 25,7$ мм.

Прийmemo $d = 90$ мм, виходячи з необхідності мати достатню жорсткість шпинделя.

Параметр швидкохідного вузла: $d \cdot n_{\max} = 90 \cdot 1600 = 1,44 \cdot 10^5$ мм·хв⁻¹

Орієнтовні значення діаметрів шпинделя знаходимо із виразів:

- діаметр шпинделя між опорами: $d_M = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 90 = 82$ мм;
- діаметр шпинделя в задній опорі: $d_3 = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 90 = 72$ мм;
- діаметр переднього кінця шпинделя:

$$D_1 = (1,05 \div 1,2)d = (1,05 \div 1,2) \cdot 90 = 94,5 \div 108 \text{ мм.}$$

Прийmemo за Стандартом $D_1 = 100$ мм.

Відповідно до типу верстата і найбільшим діаметром обробки за таблицею вибираємо максимальний діаметр фланця шпинделя $D = 170$ мм.

Діаметр наскрізного отвору попередньо приймаємо:

$$d_0 = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 90 = 45 \text{ мм.}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Орієнтовно довжину консольної частини шпинделя приймаємо $b=120$ мм. Тоді віддаль між опорами буде $a = 3b = 3 \cdot 120 = 360$ мм.

Таблиця 3 3– Орієнтовні розміри шпиндельного вузла

d	D_M	D₁	D	d₀	b	a	d₃
90	82	100	170	45	120	360	72

3.5. Автоматизований розрахунок шпинделя засобами

SolidWorks Simulation

Для перевірки проектних рішень проведено моделювання шпиндельного вала у середовищі SolidWorks Simulation. Метою моделювання було підтвердження правильності виконаних розрахунків, оцінка напружено-деформованого стану конструкції та визначення запасу міцності [29].



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд шпиндельного вала

Для проведення розрахунку створено тривимірну модель вала та сформовано скінченно-елементну сітку. У зонах можливих концентрацій напружень сітка була автоматично згущена для підвищення точності результатів.

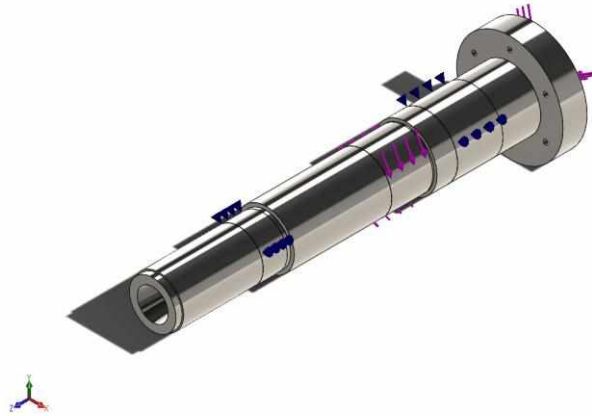


Рисунок 3.2 – Схема навантаження

3.5.1 Розрахунок елементів шпindelного вала засобами SolidWorks Simulation

Для моделювання використано матеріал 42CrMo4 (1.7225). Межа текучості матеріалу становить $7,5 \cdot 10^8$ Н/м², межа міцності – $1,0 \cdot 10^9$ Н/м², модуль пружності – $2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м².

Таблиця 3.4 - Характеристики матеріалу моделі

Параметр	Значення
Матеріал	42CrMo4 (1.7225)
Межа текучості	$7,5 \cdot 10^8$ Н/м ²
Межа міцності	$1,0 \cdot 10^9$ Н/м ²
Модуль пружності	$2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м ²
Коефіцієнт Пуассона	0,28
Густина	7800 кг/м ³

До моделі прикладено крутний момент 489 Н·м та радіальну силу 4900 Н. Закріплення виконано за допомогою двох підшипникових опор. Для шпindelного вала на рис.3.3 наведено карту еквівалентних деформацій за критерієм Мізеса (ESTRN), отриману в середовищі SolidWorks Simulation.

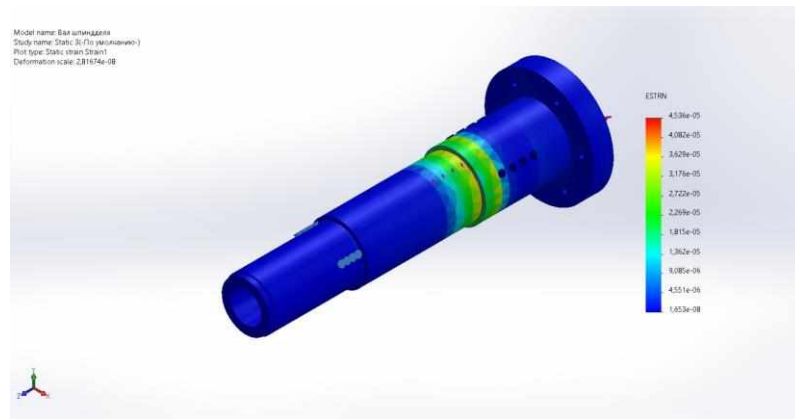


Рисунок 3.3 – Розподіл напружень за Мізесом

Характеристика результатів аналізу.

Аналіз показує розподіл еквівалентних деформацій у шпindelьному валі під дією заданих навантажень. Максимальне значення еквівалентної деформації становить $4,536 \cdot 10^{-5}$, а мінімальне – $1,653 \cdot 10^{-8}$. Розподіл деформацій є нерівномірним і залежить від геометрії деталей та умов навантаження.

Найбільші деформації спостерігаються в зоні переходу між фланцем і циліндричною частиною вала, де відбувається зміна поперечного перерізу. Саме в цій області викликана концентрація напружень та деформацій, що характерно для ступінчастих валів. На кольоровій шкалі ця зона позначена жовто-зеленими та частково помаранчевими відтінками.

Основна частина вала має синє забарвлення, що відповідає низьким значенням деформацій. Це свідчить про достатню жорсткість конструкції та відсутність значних пружних переміщень у робочих умовах.

Оскільки максимальна деформація є дуже малою (менше 0,005 %), можна зробити висновок, що шпindelьний вал працює в межах пружної області матеріалу і не зазначає небезпечних пластичних деформацій. Отримані результати підтверджують правильність вибору геометричних параметрів вала та його матеріалу.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

На рисунку 3.4 наведено результати аналізу результатів переміщення (URES) шпindelного вала. Переміщення характеризують зміну положення прикладу точок конструкції під дією навантажень та є одним із основних показників жорсткості вузла.

Згідно з результатами розрахунку:

- мінімальне переміщення становить $4,902 \cdot 10^{-5}$ мм;
- максимальне переміщення становить $2,034 \cdot 10^{-4}$ мм.

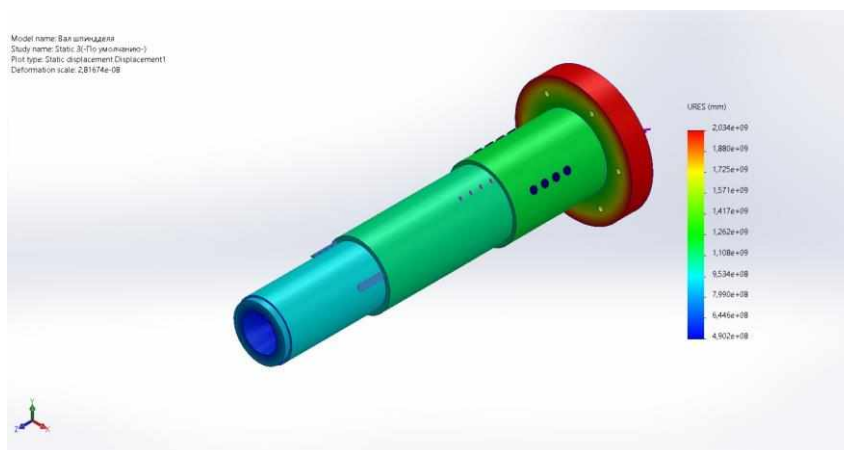


Рисунок 3.4 – Результуючі переміщення

Карта переміщень показує плавний розподіл деформацій уздовж у всій довжині вала. Найменші переміщення спостерігаються в задній частині шпинделя (синя зона), а найбільші – в області фланця (червона зона). Такий характер розподілу є закономірним і пояснюється схемою закріплення та прикладення навантаження.

Відсутність локальних зон різкого переходу кольорів кольорів про те, що конструкція не має ділянок із недостатньою жорсткістю або небезпечними концентраціями деформацій.

Порівняння з допустимими переміщеннями

Для шпindelних вузлів металорізальних верстатів допустимий радіальний прогин зазвичай становить:

- для універсальних токарних верстатів — 0,005...0,020 мм;

									18	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБ 361.00.00.000ПЗ

- для верстатів підвищеної точності — 0,002...0,005 мм;
- для прецизійних шпинделів — не більше 0,001...0,002 мм.

Отримані в розрахунку переміщення менші за допустимі значення.

Таким чином, з точки зору жорсткості конструкції запас є великим.

Для перевірки працездатності та міцності шпиндельного вала було проведено статичний аналіз методом скінченних елементів у середовищі SolidWorks Simulation. Оцінювання напруженого стану здійснювалося за критерієм Мізеса, який є одним із найбільш поширених критеріїв міцності для пластичних матеріалів. Даний критерій дозволяє оцінити складний напружений стан конструкції та визначити найбільш навантажені ділянки деталі.

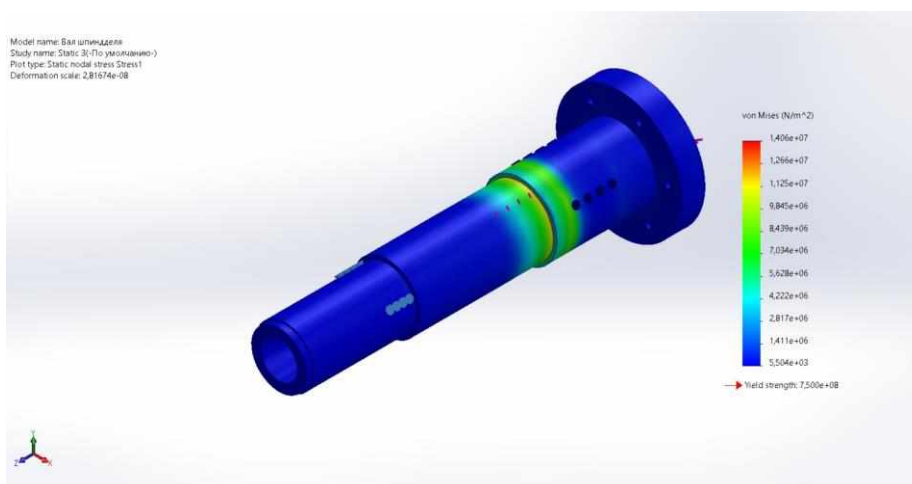


Рисунок 3.5 – Еквівалентні деформації

Аналіз еквівалентних напружень за Мізесом шпиндельного вала.

За результатами моделювання отримано карту розподілу еквівалентних напружень, з якої видно, що найбільші напруження виникають у зоні переходу між фланцем та основною циліндричною частиною шпиндельного вала. Такий характер розподілу є цілком закономірним, оскільки саме в цих місцях відбувається зміна поперечного перерізу деталі та виникають локальні концентрації напружень. Крім того, через дану ділянку передається основна

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

частина крутного моменту та згинального навантаження, що додатково підвищує рівень напруженого стану.

Згідно з результатами розрахунку максимальне еквівалентне напруження становить 140,6МПа

Матеріалом шпindelного вала є легована конструкційна сталь 42CrMo4 (1.7225), для якої межа текучості становить 750МПа

Порівняння отриманих результатів показує, що максимальне значення розрахункових напружень залишається значно меншим від межі текучості матеріалу у 5,33.

Отриманий коефіцієнт запасу міцності становить 5,33. Для шпindelних вузлів металорізальних верстатів рекомендовані значення запасу міцності зазвичай знаходяться в межах від 2 до 3. Таким чином, фактичний запас міцності конструкції майже вдвічі перевищує мінімально необхідний.

Карта розподілу напружень свідчить про те, що переважна частина поверхні вала має синє забарвлення, яке відповідає низьким рівням напружень. Це означає, що основна частина конструкції працює з великим запасом міцності, а локалізація максимальних напружень відбувається лише в зоні зміни геометрії. При цьому навіть у найбільш навантаженій ділянці значення напружень не наближаються до критичних.

Відсутність зон із високими рівнями напружень свідчить про правильний вибір діаметрів ступенів вала, радіусів галтелей та конструкції фланцевого вузла. Розподіл напружень є плавним, без різких локальних піків, що позитивно впливає на довговічність конструкції та її втомну міцність.

З точки зору довговічності шпindelного вузла отримані результати є сприятливими. Оскільки максимальні напруження не перевищують навіть 20 % межі текучості матеріалу, ризик виникнення пластичних деформацій відсутній. Робота шпинделя відбуватиметься виключно в області пружних деформацій, а після зняття навантаження вал повністю відновлюватиме свою початкову форму.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	20 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливо важливим є те, що в зоні посадки підшипників спостерігаються невеликі значення напружень. Це свідчить про відсутність небезпечних локальних деформацій посадочних поверхонь, які могли б призвести до погіршення роботи підшипникових опор, зміни посадок або виникнення додаткових вібрацій під час роботи верстата.

Отримані результати також свідчать про достатню жорсткість шпиндельного вузла. Низькі рівні напружень при прикладених навантаженнях підтверджують, що конструкція здатна забезпечувати необхідну точність обробки без виникнення значних пружних відхилень осі шпинделя.

Результати моделювання наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Результати моделювання

Параметр	Мінімум	Максимум
Напруження за Мізесом	$5,504 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$	$1,406 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$
Еквівалентна деформація	$1,653 \cdot 10^{-8}$	$4,536 \cdot 10^{-5}$

Максимальні еквівалентні напруження становлять $1,406 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$, що значно менше межі текучості матеріалу. Отже, міцність конструкції забезпечена. Отримані значення деформацій також знаходяться в допустимих межах.

За результатами автоматизованих розрахунків встановлено, що шпиндельний вал витримує задані навантаження, а його напружено-деформований стан не перевищує допустимих значень. Конструкція є працездатною та може бути рекомендована до подальшого використання.

Висновки по розділу

У конструкторському розділі виконано кінематичний та силовий розрахунок приводу головного руху модернізованого токарного верстата,

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	21	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

призначеного для виконання операцій точення, підрізування торців, центрування та нарізування різей. На основі вимог аналізу технологічних визначено основні параметри приводу, обрану структуру коробки швидкостей та розраховано передаточні відношення її ступенів.

У результаті розрахунків вибраного електродвигуна постійного струму потужністю 9 кВт та визначено параметри механічної коробки швидкостей, що забезпечують необхідний режим регулювання частоти обертання шпинделя. Також встановлено число зубів зубчастих коліс, розраховано їх геометричні параметри та визначено основні розміри валів приводу.

Виконано розрахунок зубчастої пасової передачі між електродвигуном та коробкою швидкостей, у результаті чого визначено раціональні параметри шківів, ширину пасу та міжосьову відстань передачі.

Розрахунок шпиндельного вузла дозволяє обґрунтувати вибір його конструктивних параметрів, розмірів та опор. Встановлено основні геометричні характеристики шпинделя, що забезпечують необхідну жорсткість і точність роботи верстата.

Для перевірки працездатності конструкції проведено комп'ютерне моделювання шпиндельного вала в середовищі SolidWorks Simulation. Результати аналізу показали, що максимальні переміщення та деформації не перевищують допустимих значень, а максимальне еквівалентне напруження становить 140,6 МПа, що має меншу межу текучості матеріалу. Отриманий коефіцієнт запасу міцності дорівнює 5,33, що підтверджує надійність і довговічність розробленої конструкції.

Таким чином, виконані розрахунки та результати комп'ютерного моделювання підтвердили правильність прийнятих конструкторських рішень. Розроблений привід головного руху та шпиндельний вузол забезпечують забезпечення показників міцності, жорсткості, надійності та можуть бути рекомендовані для використання в конструкції модернізованого токарного верстату.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Психологічні чинники небезпеки

Аналіз статистичних даних та висновки експертів в галузі безпеки життєдіяльності дозволяють стверджувати, що від 60 до 90% травм у побуті та на виробництві відбувається з вини самих потерпілих. Чому так стається? В чому причина? Людство вже давно займається вивченням цих питань. Відомий вислів Сократа.

Чинники, що стійко підвищують індивідуальну імовірність наразитись на небезпеку

Стійко підвищують імовірність наразитись на небезпеку постійні функціональні зміни в нервовій системі або інших системах чи органах, що мають хворобливий характер або близький до цього стан. Такі зміни не означають непрацездатності, однак можуть чинити несприятливий вплив на людину з точки зору її безпеки (наприклад, головні болі, серцеві захворювання, цукровий діабет та ін.). В основному перебіг хвороби позначається на поведінці людини, частково безпосередньо – у вигляді слабкості, недомагання, а частково побічно – шляхом загального впливу на психіку (наприклад, подавленість, депресія, роздратованість), підвищуючи тим самим імовірність наразитись на небезпеку.

Підвищують імовірність наразитись на небезпеку порушення зв'язку між сенсорними та руховими центрами вищих відділів нервової системи. Внаслідок таких порушень людина не здатна з необхідною швидкістю та точністю реагувати на зовнішні впливи, що сприймаються її органами чуття. Серед фахівців в галузі безпеки життєдіяльності переважає думка про те, що порушення узгодженості між сенсорними та моторними процесами відіграють значну роль у виникненні багатьох нещасних випадків.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Паращук</i>						
<i>Перевірив</i>		<i>Крупа</i>						
<i>Консульт</i>		<i>Окіпний І.Б</i>						
<i>Н.конт.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Затв.</i>		<i>Крупа</i>						
						<i>ТНТУ, гр.МВс-41</i>		

Вказані порушення можуть бути компенсовані в першу чергу завдяки правильному розподілу уваги. Значну роль також відіграє доведена до автоматизму належна ступінь відпрацювання навичок, що дозволяє людині відповідати на зовнішні подразнення не тільки з рефлекторною впевненістю, але й з потрібною точністю і саме в даний момент.

Імовірність наразитись на небезпеку можуть підсилювати дефекти, що виникають в узгодженості координації рухів. Такі порушення часто виникають в координації особливо тонких та складних рухів рук. В повсякденному житті ми називаємо таких людей незграбними і часто надмірна увага до них з боку оточуючих лише підсилює дефекти рухів (стан емоційної сором'язливості). "Механіка" таких дефектів полягає у тому, що м'язи, які виконують ті чи інші рухи, керуються із різних рухових центрів кори головного мозку. У багатьох людей діяльність цих центрів протікає з недостатньою узгодженістю, в результаті чого при виконанні прийомів та операцій, що потребують складних, комбінованих рухів, деякі з них пропускаються, натомість появляються зайві, зовсім непотрібні для цієї операції. Людей з невпевненими рухами не варто залучати до робіт, де є небезпека нещасного випадку.

На імовірність наразитись на небезпеку впливає неврівноваженість емоційних процесів. Наприклад, підвищена емоційна збудливість, раптові зміни радості та злоби, гострі емоційні реакції на незначні зовнішні подразнення підвищують загрозу нещасного випадку. Зовнішній вплив неврівноваженості емоційних процесів іноді позначається побічно, наприклад, у формі легковажності, необдуманості вчинків, поспішності їх виконання. Щоб позбутися неврівноваженості емоційних процесів необхідно займатись самовихованням та виробляти самовладання.

Підвищує імовірність наразитись на небезпеку і незадоволеність роботою, відсутність інтересу до неї. Людина, яка не цікавиться роботою і не отримує від неї задоволення, не здатна психологічно правильно налаштуватись і зосередити свою увагу на точному виконанні прийомів та

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рухів, її поведінка характеризується як невпевнена, а увага – розсіяна. Саме ті відхилення у поведінці працівника, що викликані незадоволеністю роботою, є досить часто причиною нещасних випадків. Тому з точки зору безпеки життєдіяльності дуже важливо, щоб людина зупинила свій вибір на такому виді занять, який найбільш повно відповідає її інтересам та нахилам.

Чинники, що тимчасово підвищують індивідуальну імовірність наразитись на небезпеку

Поряд з чинниками, що стійко підвищують індивідуальну імовірність наразитись на небезпеку, існують також чинники, які або проявляються лише в певні періоди трудового процесу, або впливають на поведінку людини протягом короткого часу (кількох годин чи навіть хвилин).

Недосвідченість. Практичний досвід є безумовно важливим чинником, що підвищує безпеку праці. Він, до того ж, впливає на загальну поведінку працівника на робочому місці, що проявляється у високому темпі, ритмі, інтенсивності роботи. Досвідченість суттєво впливає на вміння працівника правильно розподілити увагу. Знаючи процес у всіх деталях, він краще пристосовує свою увагу до вимог роботи, зменшуючи її концентрацію, де це можливо, і тим самим дає своєрідний відпочинок нервовій системі. Досвідчений працівник менше втомлюється і, відповідно, підвищує свою безпеку.

Було б неправильним вважати, що ступінь досвідченості визначається лише стажем роботи. За однаковий час працівники можуть набути різний досвід. Фактичний рівень досвідченості залежить від навичок та вправності, набутих працівником під час навчання та практики, від особливостей особистості (наприклад, від інтересів працівника, особливостей мислення, спритності рухів) і нарешті, від характеру впливу виробничого колективу на працівника та його поведінку.

Необережність – це чинник, який підвищує імовірність наразити на небезпеку в певний момент часу не лише самого працівника, а й цілий виробничий колектив.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Протилежний чинник – обережність. Здатність людини до обережності проявляється найчастіше в таких формах:

– раціональне керування своєю увагою. Вміння правильно розподілити увагу полягає в тому, що коливання ступеня концентрації уваги свідомо підпорядковані об'єктивним вимогам трудового процесу. Для обережної людини властива внутрішня зосередженість, за допомогою якої вона оберігає себе від несприятливих впливів зовнішнього оточення, не дозволяє порушити необхідну внутрішню установку на роботу. Наприклад, працівник знає, коли можна поговорити, щоб це не могло стати завадою для нього самого і для оточуючих;

– правильне використання виробленого автоматизму дії. Це означає, що працівник знає, коли необхідно свідомо контролювати свої дії, а коли він може повністю покластися на вироблені під час навчання та практики навички;

– дисциплінованість. Вона проявляється в безумовному виконанні необхідних норм безпеки та застосуванні відповідних засобів захисту. Численні нещасні випадки спричинені саме недбалістю в цій сфері.

– підтримання порядку на робочому місці. Обережний працівник перед тим, як приступити до роботи, перевірить місце та знаряддя праці. В той же час, працівник, який легковажно ставиться до безпеки вважає, що підтримання порядку на робочому місці – це марна трата часу. Однак статистика причин нещасних випадків засвідчує протилежне.

Таким чином, необережність, що виникає через неправильне ставлення до небезпеки, може значно підвищити імовірність нещасного випадку. Для підвищення захищеності необхідно виробляти в собі обережність, переборюючи безпечність в поведінці, формуючи професійну зрілість та свідому самодисципліну.

Втома. З точки зору безпеки життєдіяльності втома є досить значним чинником. Як правило розрізняють фізіологічну та психічну втому.

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Часто стан втоми супроводжується відчуттям стомленості – суб'єктивним вираженням процесів, які відбуваються в організмі при втомі. Психічна втома виявляється такими явищами:

- зниженням сприйняття подразників, в результаті чого окремі подразники людина взагалі не сприймає, а інші сприймає лише з певним запізненням;
- зниження здатності концентрувати увагу;
- сповільненням мислення, яке, окрім того, певною мірою втрачає критичність, гнучкість, широту;
- зниженням здатності до запам'ятовування, важче також згадувати вже відомі речі;
- змінами в емоційному стані (виникають депресії або роздратування, втрата емоційної рівноваги);
- сповільненням сенсомоторних функцій, в результаті чого час реакції стомленої людини на зовнішнє подразнення збільшується, а рухи стають неточними.

Таким чином, психічні стани, що виникають внаслідок раптових емоційних впливів, підвищують індивідуальну імовірність наразитись на небезпеку двояко: з одного боку людина стає тимчасово необережною через відповідний психічний стан, а з іншого – втрачає пильність і впевненість в рухах.

4.2. Особливості заходів електробезпеки на підприємствах

Виділяють три системи засобів і заходів забезпечення електробезпеки

- система технічних засобів і заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів і засобів.

Система технічних засобів і заходів електробезпеки

Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні і монтажі відповідно до

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чинних нормативів. За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки поділяються на дві групи:

- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи і засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блоківки безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Із метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації і конструкції, в електроустановках застосовується одночасно більшість з перерахованих технічних засобів і заходів.

Ізоляція струмовідних частин. Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність потраплянь людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз із пошкодженою ізоляцією. ДСТУ розрізняє ізоляцію:

- робочу — забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
- додаткову — забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
- подвійну — складається з робочої і додаткової;

					КРБ 361.00.00.000ПЗ	8	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- підсилену — поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту як і подвійна.

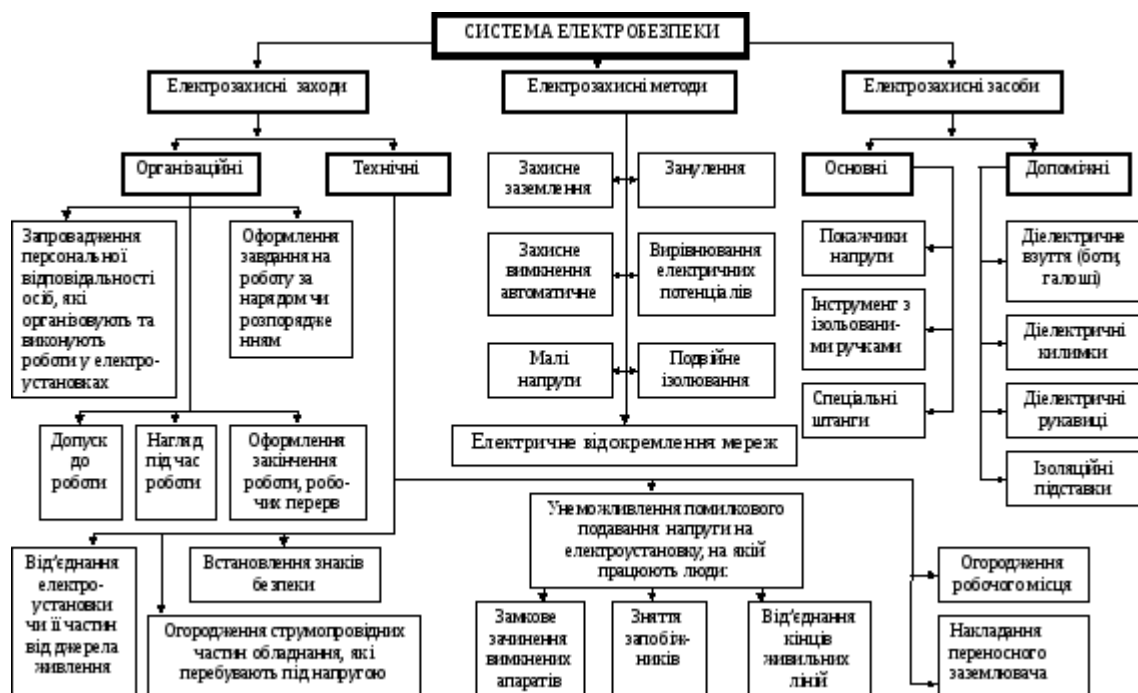


Рис. 4.1. Блок-схема системи електробезпеки

При розробці електроустановок опір ізоляції приймається в межах 1 кОм/В, якщо технічними умовами не передбачені більш жорсткі вимоги відповідно до чинних актів. З метою забезпечення працездатності електроустановок і безпечної їх експлуатації проводиться контроль стану ізоляції, який характеризується електричною міцністю ізоляції, її електричним опором і діелектричними втратами. В установках, напругою більше 1000 В, проводять всі види випробування ізоляції, а при напрузі до 1000 В — контролюється тільки електричний опір і електрична міцність. Виділяють прийнятно-здавальні випробування, післяремонтні (реконструкція і капітальний ремонт) і міжремонтні в терміни, встановлені чинними нормативами залежно від типу електроустановки і умов її експлуатації. Так, опір переносних світильників, що живляться від електромережі, електрифікованого ручного інструменту, контролюється кожні 6 місяців, зварювального обладнання – кожні 12 місяців. При цьому опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм, а для електрифікованого інструменту – 1 МОм.

Крім того є інші заходи такі як:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 361.00.00.000ПЗ				

1) Забезпечення недоступності струмовідних частин;

2) Електромагнітні блоківки безпеки вимикачів, роз'єднувачів, заземлюючих ножів використовуються на відкритих і закритих розподільних пристроях з метою забезпечення необхідної послідовності вмикання і вимикання обладнання. Вони виконуються, переважно, у вигляді стержневих електромагнітів. Стержень електромагніта при знеструмленні його обмотки під дією пружини заходить у гніздо корпусу органа управління електроустановки, що не дозволяє маніпулювати цим органом. При подачі напруги на обмотку електромагніта осердя останнього втягується в котушку електромагніта, що забезпечує розблокування органа управління електроустановкою і можливість необхідних маніпулювань цим органом.

3) Виконання електричних мереж, ізольованих від землі.

В мережах, ізольованих від землі, при однофазному включенні людини під напругу і відсутності пошкодження ізоляції інших фаз, величина струму через людину визначається опором ізоляції фаз відносно землі, який, щонайменше, становить 10^5 Ом. Таким чином, виконання мереж, ізольованих від землі, обмежує величину струму через людину за рахунок опору ізоляції фаз відносно землі при умові забезпечення необхідного стану ізоляції. За наявності фаз з пошкодженою ізоляцією і доторканні людини до фазного проводу з непошкодженою ізоляцією сила струму через людину значно зростає. Тому застосування мереж, ізольованих від землі, вимагає обов'язкового контролю опору ізоляції.

4). Захисне розділення електричних мереж

Загальний опір ізоляції проводів електричної мережі відносно землі і ємкісна складова струму замикання на землю залежать від протяжності мережі і її розгалуженості. Зі збільшенням протяжності і розгалуженості мережі r_{Σ} зменшується паралельна робота ізоляторів (накопичення дефектів) і збільшується ємкість. Розділення такої протяжної мережі на окремі, електрично не зв'язані між собою частини за допомогою трансформаторів з коефіцієнтом трансформації, рівним одиниці, сприяє підвищенню опору

ізоляції та зменшенню ємкості, і, як результат, призводить до підвищення рівня безпеки.

5) Застосування малих напруг

До малих напруг належать напруги 42 В і менше змінного струму частотою 50 Гц і 110 В і менше постійного струму.

Чинні нормативні документи виділяють два діапазони малих напруг змінного струму: 12 В і 42 В. Напруга до 42 В змінного і до 110 В постійного струму застосовується в приміщеннях з підвищеною небезпекою електротравм, особливо небезпечних і поза приміщеннями для живлення ручного електрифікованого інструменту, ручних переносних ламп, світильників місцевого освітлення з лампами розжарювання, в яких конструктивно не виключена можливість контакту сторонніх осіб зі струмовідними частинами, світильників загального освітлення з лампами розжарювання при висоті підвісу світильників меншій 2,5 м.

6) Компенсація ємнісної складової струму замикання на землю.

В мережах з ізольованою нейтраллю струм однофазних замикань на землю, як і струм через людину при однофазному дотиці до струмовідних частин, оцінюється активною і ємнісною складовими. Так, ємність кожного проводу повітряної мережі 6...35 кВ складає приблизно 5000...6000 пФ/км, а ємнісний струм на 1 кВ лінійної напруги і на 1 км довжини — 2,7...3,3 мА для мереж на дерев'яних опорах. В мережах на металевих опорах цей струм на 10...15% більший. В протяжних розгалужених мережах ємнісна складова струму через людину може перевищувати активну і бути визначальною в тяжкості ураження людини електричним струмом. Крім того, значні ємності мереж напругою більше 1000 В негативно впливають на ізоляцію мережі, викликають перенапругу в ізоляції, що може призводити до її перекриття.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне вирішення інженерної задачі з модернізації металорізального обладнання та проектування високопродуктивного технологічного процесу. На основі проведених розрахунків та досліджень можна зробити такі висновки:

1. На основі аналізу конструкції базового верстата, виявлено низку критичних недоліків, зокрема обмеженість обробки за один установ та застарілу систему ЧПК.

2. У ході виконання технологічного розділу проведено порівняльний економічний аналіз двох варіантів виготовлення деталі «Диск». Розроблено детальний маршрутно-операційний техпроцес, виконано аналітичний розрахунок припусків для поверхні $\varnothing 255h7$ (загальний номінальний припуск склав 1446 мкм) та визначено норми штучно-калькуляційного часу.

3. Відповідно до конструкторських розрахунків, спроектовано оновлений привід головного руху на базі верстата 16М30Ф3141 із розширеним діапазоном частот. Обрано електродвигун постійного струму 2ПФ180МУХЛ4 потужністю 9 кВт.

4. На основі автоматизованого розрахунку шпинделя встановлено, що запас його жорсткості і міцності достатній для проведення процесу обробки

5. Запропоновані технічні та технологічні рішення дозволяють значно підвищити продуктивність обробки, знизити технологічну собівартість виготовлення деталей та можуть бути рекомендовані до впровадження в умовах серійного й дрібносерійного машинобудівного виробництва.

					<i>КРБ 361.00.00.000ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Паращук</i>			ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Крупа</i>						
<i>Н.конт.</i>		<i>Кобельник</i>			<i>ТНТУ, зр.МВс-41</i>			
<i>Затв.</i>		<i>Крупа</i>						

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крупа В.В. 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. Складов, 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.

2. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / П. Д. Кривий та ін. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. 2020.№3 (47). С. 199. - 206.

3. Кривий П. Д., Крупа В. В. Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки". 2011. Т. 1, № 2(53). С. 44–55. URL: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/70846>.

4. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22-31.

5. 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.

					<i>КРБ 361.00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Список використаної літератури</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Паращук</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Крупа В.В.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа В.В.</i>					
					<i>Лит.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
					ТНТУ, ФМТ, МВс-41		

6. Кривий П.Д. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, В.І. Продан, В.Г. Яковлев // Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 145–155.

7. Кривий П. Д., Крупа В. В. Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки". 2011. Т. 1, № 2(53). С. 44–55. URL: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/70846>.

8. Кривий П. Д., Крупа В. В. Інструментальне забезпечення процесу комбінованого розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2012. № 2. С. 23–34.

9. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис. ... канд. техн. наук:05.03.01. Тернопіль, 2015. 168 с. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/5656>

10. Nahalyuk A., Krupa V. Modeling of a lathe bed using the method of topological optimization. Scientific journal of the Ternopil national technical university. 2023. Vol.111, no.3. P.67–75. URL:https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03.067

11. 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.

12. Krupa, V., Kobelnyk, V., Viuk, D., Zakharii, A., & Bei, M. (2026). Devising a method for assessing the residual resource and efficiency of tool utilization based on the analysis of dimensional wear . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1 (139), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.350626>

13. Harmonic-dispersion analysis of the shape accuracy of the rolling bushings of drive roller and bushing chains. Senyk A., Kovalov V., Klymenko G., Vasylychenko Y., Shapovalov M., Kobelnyk O. Procedia Structural Integrity. 7th

					<i>КРБ 361.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85195807313&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=a84d4364e9e8a8c805127dd9219dd36e&sot=aff&sd t=a&sl=67&s=AF-ID%28%22Ternopil+Ivan+Puluj+National+Technical+University%22+60013556%29&relpos=12&citeCnt=0&searchTerm=>

14. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2024).

15. Volodymyr Shanaida, Ruslan Skliarov, Valeriy Lazaryuk. Mathematical models for the analysis of the parameters of channels in the planning of mechanical processing and welding operations. Theoretical and applied problems, november 22–24, 2023, : Proceedings ITTAP’2023: 3rd International Workshop on Information Technologies, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, 22–24 November 2023. 2023. P. 165–182.

16. 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., Larochnik 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. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85195796663&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=a84d4364e9e8a8c805127dd9219dd36e&sot=aff&sd t=a&sl=67&s=AF-ID%28%22Ternopil+Ivan+Puluj+National+Technical+University%22+60013556%29&relpos=21&citeCnt=0&searchTerm=>

17. Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning / V. Krupa et al. Journal of achievements in

					<i>КРБ 361.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с. Кушак. – Тернопіль, 2001. – 280 с.

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

28. Кухарський О.М. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування» / О.М. Кухарський, І.В. Кушак. – Тернопіль, 2001. – 280 с.

29. Кривий П. Д. , Крупа В. В. Конструкторсько-технологічні параметри багаторіцевих розточних головок з радіусними вершинами різців. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2011. Вип. 33 С. 92-99.

30. Ворощук В. Я., Вітенько Т. М. «Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks». Навчальний посібник. 2023. – 164 с.

31. URL: <https://abplanalp.ua/ru/stanok-gorizontavno-tokarnyj-haas-st-15>
(дата звернення: 21.05.25)

32. URL: <https://abplanalp.ua/verstat-frezernij-vertikalno-frezernij-haas-vf-1>
(дата звернення: 21.05.25)

33. Каталог TAEGUTEC: Токарна обробка. TAEGUTEC, 2017. – 352с.

34. Каталог TAEGUTEC: Обробка отворів. TAEGUTEC, 2017. – 246с.

35. Каталог TAEGUTEC: Фрезерний інструмент. TAEGUTEC, 2017. – 392с

36. Технологія обробки на верстатах з ЧПК : навч. посіб. / Б. М. Гевко та ін. м. Тернопіль : Крок, 2014. 131 с.

37. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

38. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В. Т. Павлице. – Львів : Афіша, 2003. – 560 с.

39. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навч. посіб. до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи /Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КРБ 361.00.00.000 ПЗ</i>					

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

41. Безпека життєдіяльності та цивільний захист [Електронний ресурс]: додатки до підручника / О. Г. Левченко, О. В. Землянська, Н. А. Праховнік, В. В. Зацарний ; НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Друге вид., випр. та допов. – Електронні текстові дані (1 Файл: 4,56 Мбайт). – Київ : Каравела, 2021. – 412 с. – Назва з екрана.

42. Кобилянський, О. В. (2008). Проблеми підвищення безпеки праці на підприємствах. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 5, 117-123.

43. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях: Методичний посібник . Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

44. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня «бакалавр» усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі: Гурик О. Я., Окіпний І. Б., Сенчишин В. С., Мариненко С. Ю., Король О. І. - Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с.

					<i>КРБ 361.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		