

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Конструювання компонентів приводу головного руху
багатоцільового верстату з розробкою технологічного
процесу виготовлення деталі «Клемна коробка»**

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи МВ-41
спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Василь ІЛЬНІЦЬКИЙ</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Руслан СКЛЯРОВ</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Володимир КОБЕЛЬНИК</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Володимир КРУПА</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (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)

«__» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Ільницький Василь Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання компонентів приводу головного руху багатоцільового верстату з розробкою технологічного процесу виготовлення деталі «Клемна коробка»

Керівник роботи Склярів Руслан Анатолійович, к.т.н., доц. каф. ВІ

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Клемна коробка»;
базовий технологічний процес обробки деталі, паспорти обладнання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз завдання на проектування; огляд літератури по тематиці роботи; аналіз базового технологічного процесу механічної обробки деталі; технологічний розрахунок, розробка кінематичної схеми верстата на одну із технологічних операцій; розрахунок конструкції приводу головного руху верстату; вирішення питань безпеки життєдіяльності та охорони праці

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

Креслення деталі представника – 1 ф.А1; Аналіз формоутворюючих рухів – 1 ф.А1;

Кінематична схема верстата – 1 ф.А1; Загальний вигляд верстату 1 ф.А1;

Привід головного руху верстата – 2 ф.А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	к.т.н., доцент Ігор ОКІПНИЙ		
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Володимир КОБЕЛЬНИК		

7. Дата видачі завдання 24.01.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Василь ІЛЬНИЦЬКИЙ

Керівник роботи

(підпис)

Руслан СКЛЯРОВ

(

Анотація

Ільницький В. І. Конструювання компонентів приводу головного руху багатоцільового верстату з розробкою технологічного процесу виготовлення деталі «Клемна коробка»: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавр : спец. 133 – галузеве машинобудування / кер. Р.А. Скляров. Тернопіль : факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВ-41.: ТНТУ, 2025.

Ключові слова: багатоцільовий верстат, коробка клемна, механічна обробка, режими різання, привід головного руху.

В кваліфікаційній роботі приведені розроблено технологійний процес виготовлення деталі «Коробка клемна» з використанням багатоцільового верстату. Розроблено кінематичну схему верстата. Здійснено розробку конструкції приводу головного руху верстата. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Annotation

ILNITSKYI VASYL. Design of main drive components of a multifunctional machine with development of the technological process for manufacturing the “Terminal Box” part. Thesis for the bachelor's degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2025.

Key words: multipurpose machine tool, terminal box, machining, cutting modes, main motion drive.

the developed technological process for manufacturing the part "Terminal box" using a multi-purpose machine tool. The kinematic diagram of the machine tool has been developed. The design of the drive for the main movement of the machine tool has been developed. The issues of labor protection and life safety have been resolved.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Анотація		
Розроб.		Ільницький В.І.					
Перевір.		Скляров Р.А.					
Реценз.							
Н. Кантр.		Кабельник В. Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м.Тернопіль		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						4	1

Зміст

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз завдання	8
1.2 Характеристика об'єкту виробництва	11
1.3 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь та вибір раціональних схем оброблення поверхонь	13
1.4 Огляд літератури	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	17
2.1 Особливості запропонованого ТП обробки та вибраного обладнання ..	17
2.2 Верстатне забезпечення технологічної операції.....	19
2.3 Інструментальне забезпечення технологічної операції	21
2.4 Розрахунок режимів різання для однієї із технологічних операцій	25
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	29
3.1 Вибір та обґрунтування структурно–кінематичної схеми верстата	29
3.2 Обґрунтування технічних характеристик верстата	32
3.3 Визначення діапазону регулювання та розробка кінематичної схеми верстату	39
3.4 Розрахунок потужності приводу головного руху	48
3.5 Визначення крутних моментів та швидкостей на валах приводу	49
3.6 Розрахунок модуля передач та параметрів зубчастих коліс.....	50
3.7 Автоматизований розрахунок коробки приводу головного руху	52
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	56
4.1 Навчання з питань охорони праці на машинобудівному виробництві ..	56
4.2 Основні джерела забруднення, які створює багатоцільовий верстат	58
4.3 Розрахунок евакуаційних шляхів із виробничих приміщень дільниці ..	60
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65
ДОДАТКИ.....	70

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ		
Розроб.		Ільницький В.І.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Кантр.		Кабельник В. Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						5	1
					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м.Тернопіль		

ВСТУП

Актуальність роботи. Галузь, яка традиційно розглядається як провідна – це машинобудування. Переважно вона визначає рівень розвитку країни, її конкурентоспроможність. Верстатобудування впливає на ефективність виробничих процесів, рівень продуктивності праці, а також на якість продукції, що виготовляється.

На підприємствах машинобудівного профілю здійснюють механічну обробку деталей, при цьому вибір обладнання буде визначатися багатьма чинниками, а саме: номенклатурою продукції яка випускається; величиною партії випуску; а також поставленими вимогами стосовно якості та точності обробки.

На підприємствах, досить часто, існують підвищені вимоги до гнучкості виробництва та швидкості переналагодження обладнання. Це зумовлює переважне застосування на них багатоопераційних та багатоцільових верстатів. Дані типи верстатів дозволяють виконувати великий перелік технологічних операцій на одному робочому місці без переустановлення та переміщення заготовок. Це дозволяє скоротити тривалість виробничого циклу, підвищити якість обробки та зменшити витрати на допоміжний час.

Переважна область застосування багатоопераційних верстатів (БОВ) – середньо- та дрібносерійне виробництва. Дані верстати можуть оснащуватись системами ЧПК, це дозволяє забезпечити необхідну гнучкість обладнання та забезпечити його інтеграцію в сучасні гнучкі виробничі системи (ГВС). Робота на таких верстатах дозволяє здійснювати комплексну обробку деталей за мінімальної участі обслуговуючого персоналу.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Ільницький В.І.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Кантр.		Кодельник В.Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.					
ВСТУП					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	2
					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль		

Як відомо, створення верстатів чи їх модернізація – це складний процес, який вимагає застосування основних положень системного підходу [1, 2]. При цьому фахівці, які можуть це здійснювати, повинні враховувати не лише поточні, а й перспективні потреби ринку, тобто актуальними є прогнози дослідження в даній галузі [3, 4, 5].

При проведенні прогнозних досліджень слід мати достатню кількість статистичних даних стосовно об'єкту дослідження. Джерелами такої інформації можуть виступати як технічні каталоги, так і паспорти обладнання з технічними характеристиками верстатів.

Комплексне використання теорії технічних систем [6], а також методу нейронних мереж [7, 8] дозволяє підвищити ефективність проектування та забезпечує якісну модернізацію верстатів.

Створене таким чином обладнання буде максимально адаптованим до потреб виробництва та сприятиме зростанню конкурентоспроможності українського машинобудування.

В запропонованій кваліфікаційній роботі бакалавра, яка виконана згідно рекомендованої структури [9], здійснено конструювання компонентів приводу головного руху багатоцільового верстату з розробкою технологічного процесу виготовлення деталі «Клемна коробка».

Структура і обсяг роботи. Представлена кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та основних висновків. Записка містить ____ аркушів пояснювального матеріалу, ____ рисунків та ____ таблиць. При виконанні роботи використано різноманітну спеціалізовану літературу, а також публікації з мережі Internet. Перелік літератури містить ____ найменувань, які розміщені на ____ сторінках, а також ____ додатків на ____ сторінках. Загальний обсяг роботи становить ____ сторінок.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз завдання

В якості вихідних даних на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра слугувало креслення деталі «Клемна коробка». Дана деталь має застосування в системах електропостачання та автоматизації промислового обладнання. Вона повинна забезпечити надійне та безпечне підключення кабелів та здійснити їх захист від впливу несприятливих зовнішніх чинників. Такими чинниками є: пил, волога, хімічно-активні речовини, а також дії, що можуть призвести до механічних пошкоджень. Також клемна коробка запобігає випадковому контакту обслуговуючого персоналу при експлуатації обладнання.

Використання «Клемної коробки», при умові надійної герметизації, дозволить суттєво подовжити термін служби обладнання, гарантуючи стабільну та безпечну роботу всіх систем.

Грунтовний аналіз креслення деталі «Клемна коробка» показав, що посадочна поверхня $\varnothing 38k10$ призначена для встановлення ущільнювача, який повинен забезпечити необхідну герметичність. Ущільнюючі елементи вставляються в спеціальні пази та канавки, які містить дана деталь. Дані поверхні виготовляються з шорсткістю $Ra = 0.8$.

Використовуючи спеціальні засоби проектування нами було розроблено 3-D модель деталі, вона дозволяє відобразити її основні конструктивні особливості. Загальний вигляд деталі «Клемна коробка» приведено на рис. 1.1.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА		
Розроб.		Ільницький В.І.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Кантр.		Кабельник В. Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						8	9
					ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль		

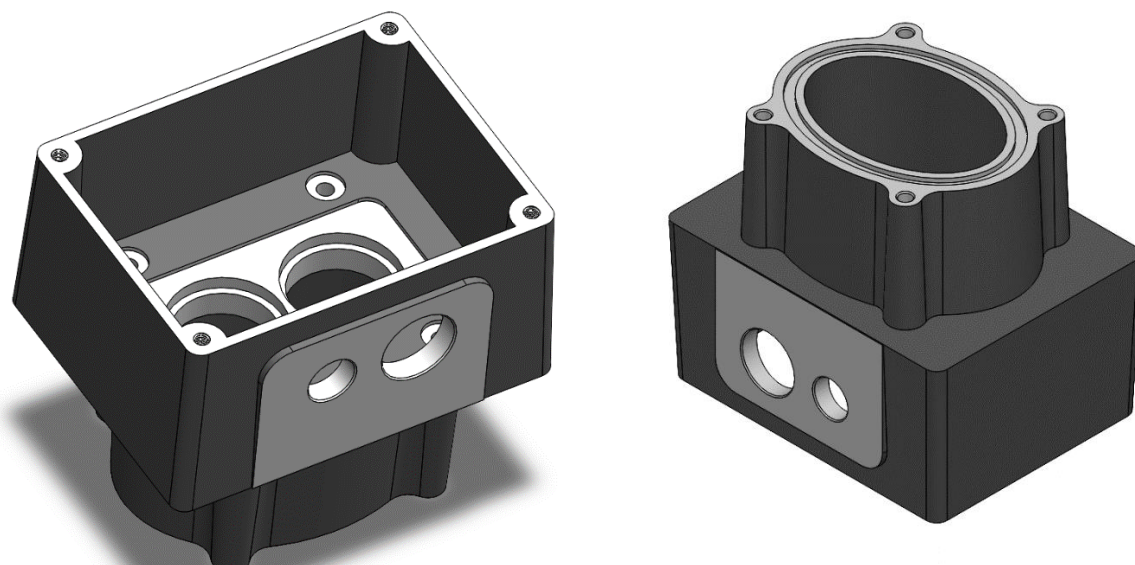


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд деталі «Клемна коробка»

Використовуючи класифікатор ЄСКД [10], визначаємо до якого класу, підкласу та групи належить деталь «Клемна коробка». На рис. 1.2 приведено класифікаційний індекс деталі «Коробка клемна».

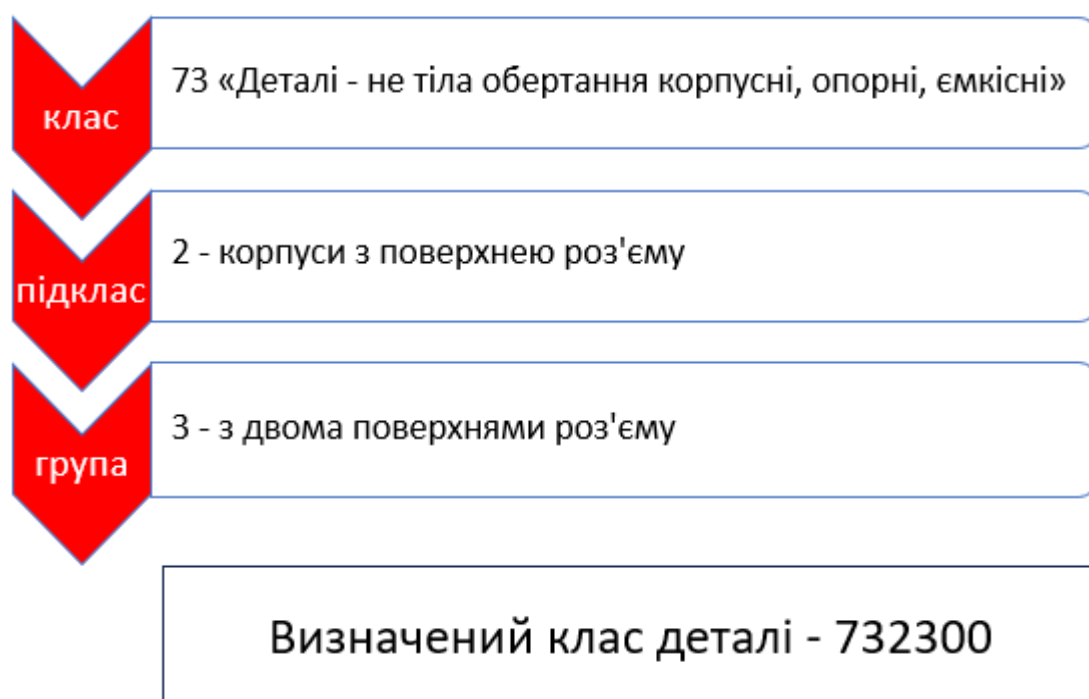


Рисунок 1.2 – Класифікаційний індекс деталі «Клемна коробка»

Проведемо аналіз базового технологічного процесу (ТП) обробки деталі «Клемна коробка», його приведено в табл. 1.1.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Таблиця 1.1 Базовий ТП виготовлення деталі «Клемна коробка»

№ оп.	Назва операції (короткий зміст)	Обладнання
005	Фрезерна (фрезерування опорної поверхні)	ГФ2171с5
010	Свердлильна з ЧПК (свердління кріпильних отворів та нарізання різі в них зі сторони опорної поверхні)	2Р135Ф2
015	Фрезерна (фрезерування внутрішньої поверхні корпусу)	ГФ2171с5
020	Розточна (розточування отвору на внутрішній поверхні корпусу)	2Е440А
025	Розточна (розточування пазу під прокладку на внутрішній поверхні корпусу)	2Е440А
030	Фрезерна (фрезерування зовнішньої поверхні деталі та пазу під ущільнення)	ГФ2171с5
035	Свердлильна з ЧПК (свердління кріпильних отворів та нарізання різі в них на зовнішній поверхні корпусу)	2Р135Ф2
040	Фрезерна (фрезерування площадки за бічної поверхні корпусу)	ГФ2171с5
045	Свердлильна з ЧПК (обробка отворів на бічній поверхні корпусу)	2Р135Ф2

Як видно з табл. 1.1 обробка деталі «Клемна коробка» передбачає виконання великої кількості операцій та технологічних переходів і передбачає використання значної кількості верстатів, що буде ускладнювати логістику виробництва та призводити до втрат часу на міжопераційне транспортування.

Базовий ТП передбачає часте переустановлення деталі, яке впливає на точність її виготовлення (оскільки можливе накопичення похибок базування). При виготовленні деталі «Клемна коробка» виявлено недостатню концентрацію операцій, що в результаті збільшило загальну трудомісткість її виготовлення.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Тобто необхідно розробити раціональний ТП, який дозволить усунути вказані недоліки.

1.2 Характеристика об'єкту виробництва

Згідно вихідних даних на кваліфікаційну роботу деталь «Клемна коробка» виготовлена з матеріалу *AlSi9Mg*, згідно європейського стандарту *EN 1706*, його маркування буде *EN AC – 43300*. Даний стандарт визначає хімічний склад та властивості ливарних алюмінієвих сплавів [11].

Даний матеріал має високу механічну міцність та стійкість до корозії. Його основні фізико-механічні властивості приведені в табл. 1.2, а хімічний склад приведений в табл. 1.3.

Таблиця 1.2 Фізико-механічні властивості сплаву *AlSi9Mg*

Фізичні властивості				Механічні властивості			
Твердість, <i>HV</i>	Густина, г/см ³	Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^6$, 1/°C	Теплопровідність, Вт/(м · К)	Межа текучості, σ_T МПа	Міцність на розрив, σ_B МПа	Відносне видовження, δ , %	Стійкість до втоми, МПа
55	2.66	21	150-180	80	160	2	80-110

Таблиця 1.3 Хімічний склад сплаву *AlSi9Mg*

Хімічний елемент	Кількість, %	Хімічний елемент	Кількість, %	Хімічний елемент	Кількість, %
<i>Fe</i>	макс. 0.19	<i>Mn</i>	Макс. 0.1	<i>Si</i>	9 ÷ 10
<i>Ti</i>	Макс. 0.15	<i>Cu</i>	макс. 0.05	<i>Mg</i>	0.25 ÷ 0.45
<i>Zn</i>	макс. 0.07	інші елем.	кожен по 0.03, всього 0.1	<i>Al</i>	решта

Наявність у складі сплаву кремнію (Si) забезпечує його високі ливарні властивості (дозволяє отримати виливки високої складності). Також він підвищує його зносостійкість та сприяє високій міцності. Магній (Mg) у складі сплаву покращує його механічні властивості, зокрема твердість та ударну міцність, а також дозволяє працювати в широкому діапазоні температур.

Сплав *AlSi9Mg* характеризується хорошою оброблюваністю, він дозволяє проводити механічну обробку, забезпечуючи при цьому високу якість поверхні. Це робить його придатним для виготовлення таких відповідальних вузлів, як «Клемна коробка», де важлива не лише механічна міцність, а й довговічність та висока корозостійкість.

Деталь «Клемна коробка» виготовляється литвом під тиском, при якому розплавлений сплав під великим тиском вводиться в металеву прес-форму. При цьому отримана заготовка має досить точні розміри, що дозволяє мінімізувати припуски на механічну обробку.

Аналіз деталі «Клемна коробка» показав, що її бокові стінки є литими, вони можуть мати певні ливарні похибки. Верхня та нижня частина деталі підлягають обробці для забезпечення герметичності при подальшому кріпленні та монтажі. По кутах корпусу (з верхньої та нижньої частини) є отвори під гвинти, вони потребують високої точності виконання. На одній з бічних поверхонь корпусу є отвори для кабельних введів, вони потребують доопрацювання до необхідного розміру. Внутрішня частина корпусу потребує доопрацювання, оскільки там є місце для прокладки. Також на верхній частині корпусу є паз під ущільнення.

Обробка деталі передбачає виконання ряду технологічних операцій, а саме фрезерування, свердління, торцювання отворів, розвертування, нарізання пазу та різі.

Базування деталі здійснюється по торцевих зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхнях. Прийнята схема базування повинна забезпечувати вільний доступ до оброблюваної поверхні. Для кріплення деталі на верстаті можуть застосовуватися спеціальні лещата, які повинні забезпечувати необхідну для обробки жорсткість закріплення.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Аналіз креслення деталі «Клемна коробка» дозволив встановити основні вимоги до точності обробки, а також визначити особливості технологічного процесу виготовлення. Попередній аналіз конструкції деталі показав, що вона має високу технологічність і відповідає якісним та кількісним показникам.

1.3 Аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь та вибір раціональних схем оброблення поверхонь

Деталь «Клемна коробка» є досить складною, для обробки її основних поверхонь нам слід забезпечити певний комплекс формоутворюючих рухів (ФУР) [12].

Як відомо, використання різноманітного різального інструменту вимагає наявності відповідного набору ФУР. В залежності від характеру цих рухів (поступальні чи обертальні), їх кількості та взаємного розташування ми можемо здійснювати різні типи обробки (свердління, фрезерування, точіння, розточування, нарізання різі, тощо). Прийнятий метод формоутворення, відповідна йому кінематична схема рухів та обраний спосіб їх реалізації будуть визначати конструктивне компонування верстату [12].

Обробка деталі «Клемна коробка» передбачає виконання операцій центрування отвору (з формуванням фаски), свердління, а також нарізання різі, при цьому необхідний комплекс ФУР, який приведений на рис. 1.3.

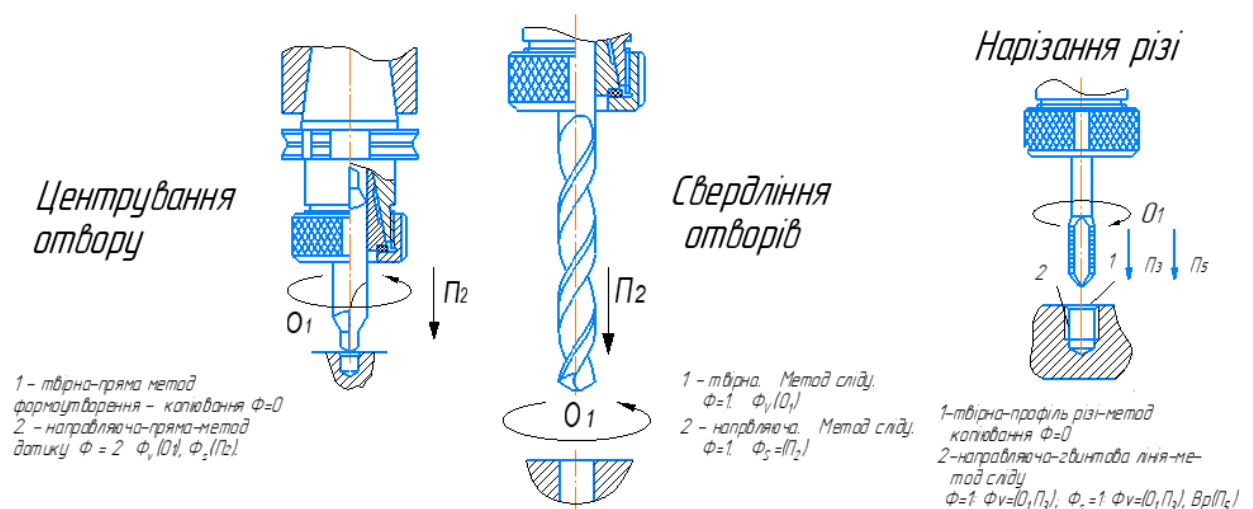


Рисунок 1.3 – ФУР при свердлінні та зенкуванні отворів

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Обробка деталі «Клемна коробка» передбачає виконання операцій торцеве фрезерування, для виконання даної технологічної операції потрібні ФУР, які приведені на рис. 1.4.

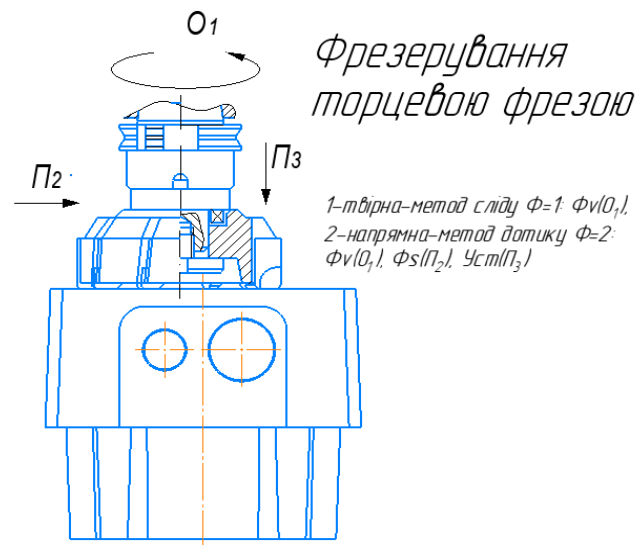


Рисунок 1.4 – ФУР при торцевому фрезеруванні та фрезеруванні пазу

При обробці деталі нам слід обробити багато поверхонь з використанням кінцевої фрези (фрезерування кишені, фрезерування пазу по еліптичному контуру, фрезерування отвору під прокладку, фрезерування наскрізного та глухого отворів). Всі ці технологічні переходи виконуються одним інструментом, але вони вимагають різної комбінації ФУР (див. рис. 1.5).

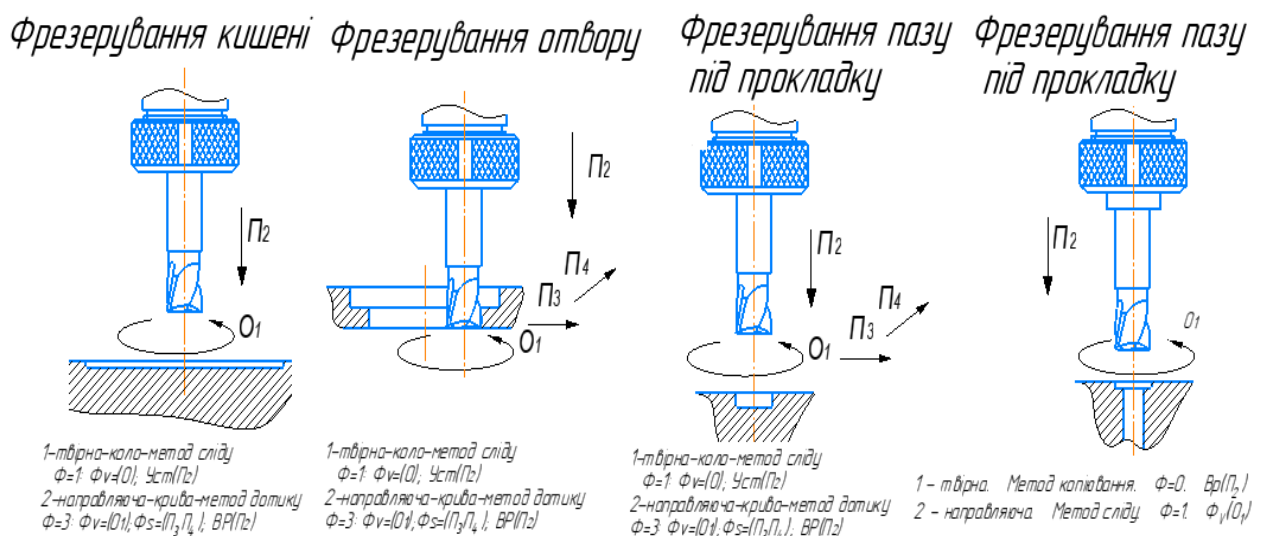


Рисунок 1.5 – ФУР при обробці кінцевою фрезой різних поверхонь

Як показав проведений аналіз – нам для обробки деталі «Клемна коробка» необхідно забезпечити велику кількість різноманітних ФУР, тому обробку доцільно проводити на багатоцільових верстатах або оброблювальних центрах, які дозволяють використовувати велику кількість різальних інструментів та мають можливість багатокоординатної обробки.

1.4 Огляд літератури

Використання багатоцільових верстатів дозволяє здійснювати за керуючою програмою автоматичну заміну різального інструменту та їх переміщенням в межах робочої зони, а також дозволяють провести повну обробку корпусної деталі з 4-5 боків. Завдяки наявному інструментальному магазину в визначеній робочій позиції можна виконувати обробку поверхонь деталі широким набором різального інструменту. При цьому можуть виконуватись технологічні переходи, що дозволяють обробляти плоскі та фасонні поверхні, проводити обробку отворів (з використанням різних інструментів) для досягнення необхідної чистоти оброблюваної поверхні, а також такі операції як нарізання різі, фрезерування пазів, формування фасонних поверхонь [13].

Як правило, базування оброблюваної деталі на верстаті відбувається на його столі (координатного або поворотного типу) або в спеціальних пристосуваннях. Поворотні столи мають перевагу, оскільки забезпечують положення заготовки під необхідним кутом. Деякі конструювання верстатів передбачають використання змінних столів або супутників, що дозволяє сумістити основні та допоміжні переходи в часі [14, 15].

Перевагами використання багатоцільових чи багатоопераційних верстатів – це здатність заміни декілька універсальних верстатів, підвищення продуктивності та точності обробки.

Особливості обробки корпусних деталей розглядались в праці вітчизняних фахівців [16], в якій вони подали особливості процесу обробки з використанням

					<i>КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

різноманітного різального інструменту. В праці також представлені основні схеми обробки та рекомендоване до використання технологічне обладнання.

Обробка корпусних деталей передбачає широке використання осьового інструменту, а саме свердл та розверток. Заслуговують уваги праці фахівців, які займались питаннями ефективності процесу свердління [17, 18].

Також ми розглянули публікації, в яких досліджувались особливості використання розточного інструменту (який також використовується при обробці корпусних деталей), та факторів які впливають на їх конструктивні особливості [19, 20, 21].

					<i>КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Особливості запропонованого ТП обробки та вибраного обладнання

Проведений в першому розділі кваліфікаційної роботи аналіз базового (заводського) ТП виготовлення деталі «Клемна коробка» дозволив виявити ряд суттєвих недоліків, які негативно впливають на ефективність виробничого процесу. До них можна віднести використання універсального технологічного обладнання, яке передбачає багатократне перевстановлення заготовок, що знижує точність взаємного розташування поверхонь, збільшує тривалість виробничого циклу, що в результаті призводить до зростання собівартості обробки. Тому при розробці раціонального ТП ми вирішили застосувати верстат типу багатоцільовий верстат або оброблювальний центр.

Використання такого верстату дозволяє реалізувати обробку деталі з мінімальним перевстановленням заготовки, реалізувавши схему обробки з високою концентрацією операцій на верстаті. На багатоцільових верстатах переважно реалізовано систему адаптивного керування та автоматичного контролю якості оброблюваних поверхонь. Використання такого обладнання дозволяє суттєво скоротити час обробки за рахунок використання інструментального магазину.

При виготовленні деталі «Коробка клемна» необхідно здійснити обробку ряду поверхонь, а саме площин, отворів, пазів, необхідно нарізати метричну різь. На рис. 2.2 приведено перелік цих поверхонь, а в таблиці 2.1. наведено перелік операцій та операційних переходів, які будуть виконуватись при обробці деталі на багатоцільовому верстаті.

					<i>КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Ільницький В.І.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Склярів Р.А.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Кантр.</i>		<i>Кабельник В. Р.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Крцпа В.В.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						<i>17</i>	<i>12</i>
					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		

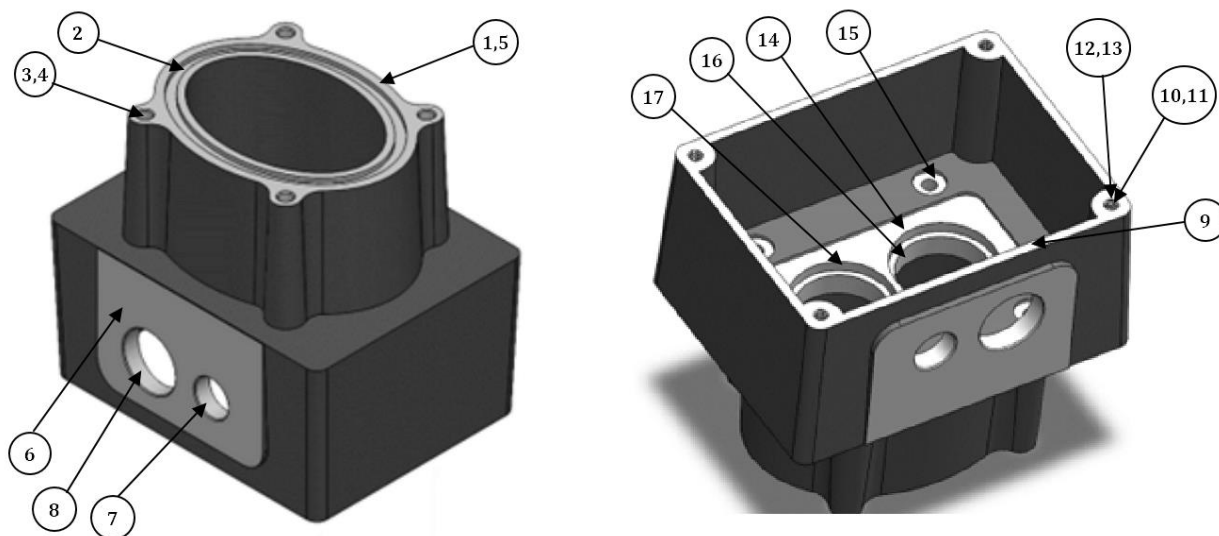


Рисунок 2.2 – Деталь «Клемна коробка» та номери поверхонь, що обробляються

Таблиця 2.1 Операційні переходи обробки деталі на багатоцільовому верстаті

Назва операції та зміст переходу	№ пов.	Інструмент
Позиція 1		
фрезерування площини чорнове	1	торцева фреза Ø125 мм
фрезерування канавки (глибина 2.5мм)	2	кінцева фреза Ø4 мм
центрувати 4 отвори	3	свердло центрувальне Ø5мм
свердлити 4 наскрізні отвори Ø6 мм	4	свердло Ø6 мм
фрезерування площини чистове	5	торцева фреза Ø125 мм
Позиція 2 (поворот деталі)		
фрезерування площини	6	торцева фреза Ø63 мм
свердлити 1 наскрізний отвір Ø16 мм	7	свердло Ø16 мм
свердлити 1 наскрізний отвір Ø25 мм	8	свердло Ø25 мм
Позиція 3 (поворот деталі)		
фрезерувати площину	9	торцева фреза Ø125 мм
центрувати 4 отвори з фаскою	10,11	свердло центрувальне Ø4мм
свердлити 4 отвори на глибину 15 мм	12	свердло Ø4.2 мм
нарізати різь в 4 отворах	13	мітчик М5 × 0.8
фрезерувати кишеню	14	фреза кінцева Ø12 мм
фрезерування 4 пазів під прокладки	15	фреза кінцева Ø12 мм
свердлити 2 наскрізні отвори Ø20 мм	16	свердло Ø20 мм
фрезерувати 2 отвори до Ø33.5 мм	16	фреза кінцева Ø12 мм
фрезерувати 2 глухі отвори до Ø38 мм на глибину 6 мм	17	фреза кінцева Ø12 мм

Запропонований технологічний процес дозволяє замінити верстати, що застосовувались в базовому ТП на один багатоцільовий, що дозволяє скоротити кількість переналагоджень та установок.

Пропонована послідовність обробки поверхонь деталі побудована таким чином, щоб мінімізувати допоміжний час на верстаті, скоротити кількість використовуваного інструменту та забезпечити оптимальне розташування заготовки. Для обробки обирається прогресивний інструмент, який дозволяє проводити високопродуктивну обробку.

Використання багатоцільового верстату дозволить суттєво скоротити час на виготовлення деталі, зменшити загальну трудомісткість виготовлення деталі та значно підвищити рівень автоматизації виробництва, що в свою чергу буде сприяти покращенню умов праці на виробництві.

Пропонований ТП сприяє мінімізації виробничих витрат за рахунок зменшення кількості робочих місць та обслуговуючого персоналу. Він є виправданим для серійного та дрібносерійного виробництва, в умовах коли відбувається часта зміна номенклатури виготовлюваної продукції.

2.2 Верстатне забезпечення технологічної операції

Розроблений ТП виготовлення корпусної деталі «Клемна коробка» передбачає використання багатоцільового верстату з ЧПК, який дозволяє здійснювати комплексну обробку, на ньому можна виконувати операції фрезерування, свердління, нарізання різі та розточування отворів. В якості базової моделі обираємо верстат [22], зовнішній вигляд якого та технічні характеристики приведені в Додатку А.

Даний верстат дозволяє здійснити комплексну обробку деталі, що мінімізує похибки базування та підвищує точність кінцевого виробу.

Для забезпечення можливості обробки деталі з 3-х сторін на верстат додатково встановлюється 5-осьовий поворотний стіл 160 мм з двохосьовим

					<i>КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

блоком керування від компанії Index Designs [23], його зовнішній вигляд приведено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – 5-осьовий поворотний стіл 160 мм від компанії Index Designs

Поворотний стіл від компанії Index Designs має габаритні розміри 530×460 мм, його маса становить 122,5 кг, для його кріплення потрібен стіл розміром 500×500 мм та адаптерна плита для кріплення на столі верстату.

Обраний багатоцільовий верстат дозволяє закріпити даний поворотний стіл.

Верстат оснащений шпиндельною бабкою, яка має можливість переміщення як по осях Y та Z , його прецизійна система подач забезпечує точність переміщення шпинделя до 0.016 мм, що дозволяє забезпечити високоточну обробку.

Ще однією перевагою обраного верстату – він містить інструментальний магазин на 30 позицій, при цьому час заміни інструменту становить 5 сек.

Оскільки на верстаті можуть оброблятися деталі з різних матеріалів та сплавів, то потужність приводу головного руху становить 7,5 кВт, що дозволяє їх ефективно обробляти.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2.3 Інструментальне забезпечення технологічної операції

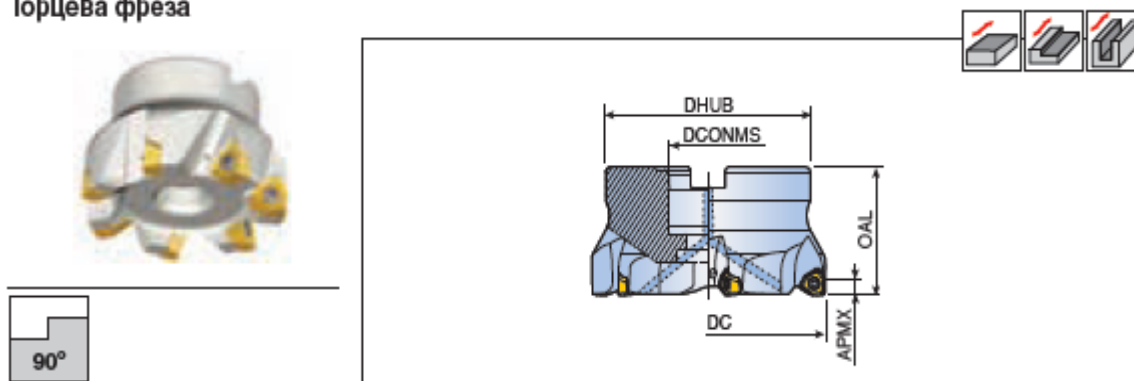
При виборі інструментів для обробки деталі «Клемна коробка» будемо обирати інструменти провідних європейських виробників.

Для фрезерування площин ми будемо використовувати торцеві фрези діаметрами 63 мм та 125 мм фірми TAEGUTEC [24], які мають відповідно позначення 6N TF90 – 763 – 22R – 06 та 6N TF90 – 7125 – 40R – 06, їх основні характеристики та зовнішній вигляд приведені на рис. 2.4.

6N TF90-06/09

Торцева фреза

MILL2RUSH



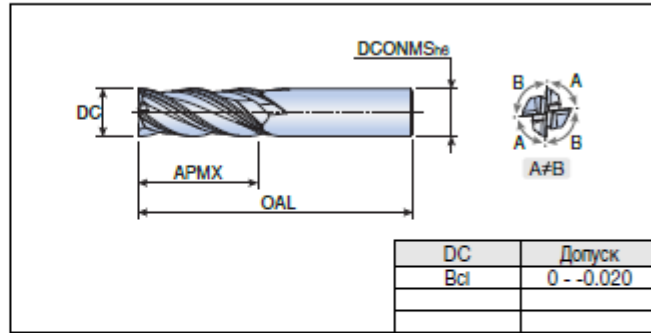
Позначення		Розміри (мм)						Канали	Виконання		Болт кріплення	Пластина
		DC	DCONMS	DHUB	OAL	APMX	ЗОР	корпуса				
6N TF90	663-22R-06	6	63	22	47	40	6.2	•	A	0.5	LH M10x25	
	763-22R-06	7	63	22	47	40	6.2	•	A	0.5	LH M10x25	
	11100-32R-06	11	100	32	85	50	6.2	•	A	1.9	SH M16x35	
	7125-40R-06	7	125	40	85	63	6.2	•	A	3.2	SH M20x40	

Рисунок 2.4 – Загальний вигляд та розміри торцевих фрез типу 6N TF90

Для фрезерування еліптичної канавки під прокладку використовуємо кінцеву фрезу фірми TAEGUTEC UHP 4040X20X70, для решти поверхонь (відбувається обробка кишені, обробляються наскрізний та глухий отвори, а також паз під прокладку) - кінцева фреза UHP 4120X55X110 [24], їх основні характеристики та зовнішній вигляд приведені на рис. 2.5.

UHP 4

4-х зуба пряма фреза середньої довжини



DC	Допуск
Bcl	0 - -0.020

Позначення	Подача (мм/зуб)	Розміри (мм)				Сплав
		DC	OAL	APMX	DCONMS	
UHP 4020X6X42	0.010-0.015	2	42	6	6	•
4030X10X57	0.010-0.020	3	57	10	6	•
4040X12X67	0.010-0.035	4	57	12	6	•
4040X20X70	0.010-0.025	4	70	20	6	•
4120X30X83	0.030-0.130	12	83	30	12	•
4120X55X110	0.030-0.100	12	110	55	12	•

Рисунок 2.5 – Загальний вигляд та розміри кінцевих фрез типу UHP 4

При обробці деталі «Клемна коробка» необхідно нарізати метричну різь М5. Для цього необхідно по чергово застосувати три інструменти (центрувальне свердло з $d_1 = 3.15$ мм та $d_2 = 8$ мм, свердло $\varnothing 4.2$, яким буде свердлитись глухий отвір та мітчик машинний М5 $\times$ 0.8).

На рис. 2.6 приведено загальний вигляд та основні розміри центрувального свердла HSS DIN 333-06361315, які пропонує компанія WURTH [25]. Також ми будемо використовувати центрувальне свердло HSS DIN 333-0636140, перед свердлінням глибокого отвору $\varnothing 6$ мм.

Свердло центрувальне HSS DIN 333 ТИП А



Високоякісне свердло виготовлено зі швидкорізної сталі HSS.

- Без запобіжного конуса.
- Кут зенкувальної частини: 60° .
- Виготовлено з допуском по h9, згідно DIN7160.

Застосування:

Призначено для обробки центрових отворів в деталях відповідно до DIN 333. Центрові отвори виготовляються на торцевих поверхнях циліндричних деталей (вал, шпindel, вісь та ін.) Для подальшої механічної обробки на токарних верстатах і обробних центрах. Призначено для застосування в металообробних верстатах і верстатах з ЧПУ.

d1, мм	d2, мм	L, мм	Арт. №	Уп., шт.
1,0	3,15	31,5	0636110	3
1,6	4,0	35,5	0636116	
2,0	5,0	40,0	0636120	
2,5	6,3	45,0	0636125	
3,15	8,0	50,0	06361315	
4,0	10,0	56,0	0636140	

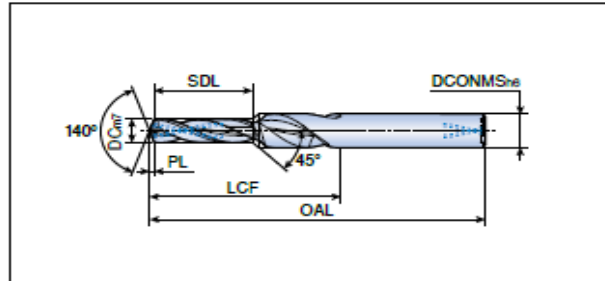
Рисунок 2.6 – Загальний вигляд та розміри центрувальних свердл

Для свердління глухого отвору під різьбу $M5$ використовуємо свердло фірми TAEGUTEC $SHO\ 033 \times 12 \times 6 - M5$ [24], його основні характеристики та зовнішній вигляд приведені на рис. 2.7.

SHO...-M

Монолітне твердосплавне свердло для отворів під різьбу

HDRILL



Позначення	ISO різьба	Розміри (мм)						Сплав
		DC	OAL	SDL	LCF	DCONMS	PL	
SHO 033x12x6-M4	M4	3.3	62.5	12	26.5	6	0.5	•
042x15x6-M5	M5	4.2	66.6	15	28.6	6	0.6	•

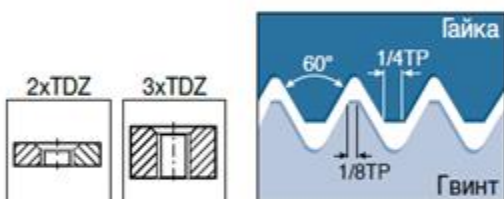
Рисунок 2.7 – Загальний вигляд та розміри свердла для отворів під різьбу

Для нарізання різі будемо використовувати мітчик фірми TAEGUTEC $TPH452B10\ M5 \times 0.5$ [24], його основні характеристики та зовнішній вигляд приведені на рис. 2.8.

TPH...52B10

Мітчик з прямою канавкою та спіральним вістря - покриття TiN

T-TAP



Метрична ISO за стандартом DIN 13

Позначення	TDZ	Крок (мм)	Стандарт хвостовика (DIN)	Допуск	Розміри (мм)					
					OAL	THL	LU	DCONMS	DRVS	Отвір
TPH452B10 M4x0.7	M4	0.7	DIN371	ISO 2-6H	63	12	21	4.5	3.4	3.3
TPH452B10 M5x0.8	M5	0.8			70	14	25	6	4.9	4.2
TPH452B10 M6x1.0	M6	1			80	16	30	6	4.9	5

Рисунок 2.8 – Загальний вигляд та розміри мітчика типу TPH

Для свердління наскрізного отвору $\varnothing 6$ мм на глибину 60 мм з каталогу фірми TAEGUTEC обираємо подовжене свердло *SHO 15060* [24], його основні характеристики та зовнішній вигляд приведені на рис. 2.9.

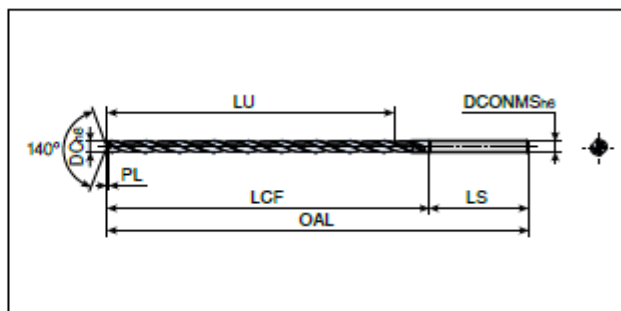
SHO 10/15/20

HDRILL

Подовжене монолітне свердло з каналами подачі ЗОР



- Глибина свердління: 10/15/20xD
- Свердління з мінімальною кількістю ЗОР



Позначення	Розміри (мм)							Сплав
	DC	DCONMS	OAL	LU	LCF	LS	PL	
SHO 10040	4.0	4	105.6	50	55.6	50	0.6	•
10050	5.0	5	115.8	60	65.8	50	0.8	•
10060	6.0	6	131.0	76	81.0	50	1.0	•
15050	5.0	5	140.8	85	90.8	50	0.8	•
15060	6.0	6	161.0	106	111.0	50	1.0	•

Рисунок 2.9 – Загальний вигляд та розміри подовженого свердла *SHO 15060*

Для інших переходів, які передбачають свердління отворів $\varnothing 16$, $\varnothing 20$ та $\varnothing 25$ мм обираємо свердла фірми TAEGUTEC типу *TCD ...S0 – 5D* [24], їх основні характеристики та зовнішній вигляд приведені на рис. 2.10.

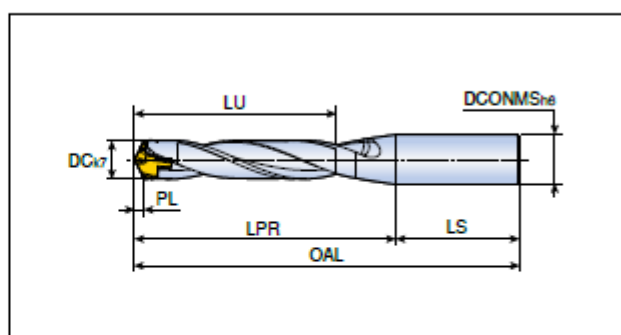
TCD...S0-5D

DRILLRUSH

Свердло зі змінними головками та циліндричним хвостовиком



- Глибина свердління: 5xD



Позначення	Розміри (мм)							Ключ
	DC	DCONMS	LU	LPR	LS	PL	SSC	
TCD 150-159-20S0-5D	15.0-15.9	20	77	98.7	50	2.27	15	K TCD D100-D199
200-209-25S0-5D	20.0-20.9	25	103	131.6	56	3.02	20	K TCD D200-D269
250-259-32S0-5D	25.0-25.9	32	129	164.5	60	3.80	25	

Рисунок 2.10 – Загальний вигляд та розміри свердл типу *TCD ...S0 – 5D*

2.4 Розрахунок режимів різання для однієї із технологічних операцій

Для формування вихідних даних на розрахунок конструкції верстату слід провести розрахунок для найбільш навантаженого технологічного переходу. Решта технологічних переходів буде розрахована автоматично з використанням засобів які пропонують фірми виробники різального інструменту [22].

Розглянемо технологічний перехід – фрезерування пов. 1 в розмір 110 ± 0.4 мм. Характер обробки – чорновий. Інструмент – торцева фреза фірми TAEGUTES 6N TF90 – 7125 – 40R – 06.

Згідно рекомендацій для даної фрези оптимальне значення швидкості різання знаходиться в межах 250 – 300 м/хв. Приймаємо $V = 275$ м/хв.

У відповідності до технологічного процесу виготовлення деталей «Клемна коробка» отримана литвом, глибина різання при чорновій обробці буде рівна припуску, тобто $t = 5$ мм.

Тоді рекомендована подача на зуб буде становити [26]:

$$S_z = 0.08 \text{ мм/зуб}$$

Розрахуємо значення частоти обертання фрези:

$$n_\phi = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_\phi} \quad (2.1)$$

Розрахункове значення буде становити:

$$n_\phi = \frac{1000 \cdot 275}{3.14 \cdot 125} = 700 \text{ об/хв}$$

Тоді розрахункове значення хвилинної подачі:

$$S_{\text{хв}} = S_z \cdot z \cdot n \quad (2.2)$$

Отримане розрахункове значення:

$$S_{\text{хв}} = 0.08 \cdot 7 \cdot 700 = 392 \text{ мм/хв}$$

Проведемо розрахунок величини сили різання:

$$F_c = K_c \cdot t \cdot B \quad (2.3)$$

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

де K_c – коефіцієнт питомої сили різання, $H/\text{мм}^2$; $K_c = 700 H/\text{мм}^2$ – для зміцнених алюмінієвих сплавів;

t – глибина фрезерування, мм; $t = 3$ мм;

B – ширина фрезерування, мм; $B = 100$ мм.

$$F_c = 700 \cdot 3 \cdot 100 = 210000 \text{ Н}$$

Розрахуємо значення ефективної потужності різання:

$$P = \frac{F_c \cdot V}{60000} \quad (2.4)$$

Для розрахунку підставимо у вираз раніше отримані значення:

$$P = \frac{210000 \cdot 275}{60000} = 962.55 \text{ Вт} = 0.963 \text{ кВт}$$

Значення необхідної потужності приводу верстату:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P}{\eta} \quad (2.5)$$

де η – прийняте значення ККД приводу верстату; $\eta = 0.9$.

$$N_{\text{дв}} = \frac{0.963}{0.9} = 1.07 \text{ кВт}$$

Обраний верстат забезпечує умови обробки.

Проведемо перевірочний розрахунок на розраховану аналітичним методом фрезерну операцію (див. рис. 2.10), а на решту технологічних переходів здійснимо автоматизований розрахунок режимів різання з використанням онлайн сервісу від компанії Walter [27]. Дещо більше значення потужності отримане онлайн-калькулятором пояснюється методом обліку ефективного радіусу та прийнятій максимальній кількості зубів, що приймають участь в стружкоутворенні.



← Фрезерування

Торцеве фрезерування

N Алюмінієві ливарні сплави $\leq 12\% \text{ Si}$, що зміцнюються термічною обробкою, зміцнені (HB 90, Rm 314 N/mm ²)		Діаметр	Швидкість різання		Частота обертання, об./хв.
		125.00	275		700
		DC mm	vc m/min		n RPM
Кількість зубів	Глибина різання	Ширина різання	Головний кут у плані		Подача на зуб
7	3.00	100.00	90		0.08
Z	ap mm	ae	k °		fz mm
Подача на оборот	Хвилинка подача	Довжина обробки	Виступ	Передній кут	
0.56	392	110	0.00	0	
fn	vf mm/min	lm mm	U mm	γ	
ККД верстата	Критерій зносу	Формули розрахунку	Середня товщина стружки 0.06 hm mm Питомий знімання матеріалу 117.65 cm ³ /min Час обробки 26.39 Секунд Момент 38.19 Mc Nm Потужність 3.11 Pmot KW		
90	0				
η %	%				

Рисунок 2.10 – Автоматизований розрахунок режимів різання з використанням он-лайн калькулятора Walter

На всі інші технологічні переходи розрахунок будемо проводити з використанням он-лайн калькулятора Walter, а результати розрахунків зводимо в таблицю 2.2.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 2.2 – Зведена таблиця результатів розрахунків режимів різання

Технологічний перехід	інструмент, Ø мм	n, об/хв	V, м/хв	a, мм	S, мм/хв	N, кВт	t, сек
фрезерування площини, чорнове	торцева фреза Ø125 мм	700	275	3	392	1.07	25
фрезерування канавки	кінцева фреза Ø4 мм	3000	37.7	2.5	144	0.13	105
центрування 4 отворів	Свердло Ø5 мм	2500	33	6	62.5	0.2	4*5.8
свердління 4 наскрізних отворів	свердло Ø6 мм	2650	50	56	360	0.27	4*11
фрезерування площини чистове	торцева фреза Ø125 мм	890	350	0.5	375	0.21	18
фрезерування площини	торцева фреза Ø63 мм	1415	280	2	594	0.33	7
свердління наскрізного отвору	свердло Ø16 мм	3000	150	10	360	0.28	2
свердління наскрізного отвору	свердло Ø25 мм	3000	235.6	10	450	0.69	2
Фрезерування площини, чорнове	торцева фреза Ø125 мм	700	275	3	392	1.07	25
центрування 4 отворів	свердло Ø4 мм	2500	24.7	6	62.5	0.2	4*5.4
свердління 4 отворів, глухих	свердлом Ø4.2 мм	3000	39.5	15	180	0.13	4*4.5
нарізати різь в 4 отворах	мітчик M5 × 0.8	900	14.1	15	720	-	4*1
фрезерувати кишені	кінцева фреза Ø12 мм	3000	113	2	480	0.36	46
фрезерування пазів під прокладки (4 шт)	кінцева фреза Ø12 мм	3000	113	2	480	0.22	1.5
свердлити 2 наскрізні отвори	свердлом Ø20 мм	3000	185.5	10	420	0.45	2*1.5
фрезерувати 2 отвори до Ø33.5 мм	кінцева фреза Ø12 мм	3000	113	12	480	0.2	2*34
фрезерувати 2 глухі отвори до Ø38 мм	фреза кінцева Ø12 мм	3000	113	6	480	0.16	2*10

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір та обґрунтування структурно–кінематичної схеми верстата

На основі проведеного в 1 розділі аналізу формоутворюючих рухів, які необхідно застосувати для обробки деталі «Клемна коробка» переходимо до розробки структурно-кінематичної схеми верстату.

Її можна представити у вигляді окремих кінематичних ланцюгів, які забезпечують всі необхідні формоутворюючі рухи. Всього таких кінематичних ланцюгів (КЛ) є шість:

- КЛ приводу шпиндельного вузла верстату;
- КЛ переміщення стійки верстату в горизонтальній площині;
- КЛ переміщення шпинделя верстату в вертикальній площині;
- КЛ поперечного переміщення столу верстату;
- КЛ кругового переміщення столу;
- КЛ приводу інструментального магазину.

КЛ приводу шпиндельного вузла верстату має в своєму складі коробку швидкостей, яка отримує рух від двигуна M_1 , її приведено на рис. 3.1.

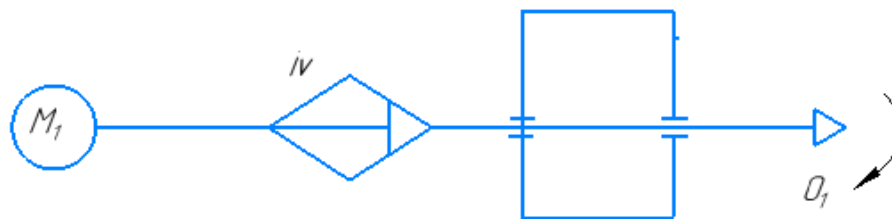


Рисунок 3.1 - КЛ приводу шпиндельного вузла верстату

КЛ переміщення стійки в горизонтальній площині отримує рух від крокового електродвигуна M_2 через передачу гвинт-гайка кочення, його представлено на рис. 3.2.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.	Ільницький В.І.				КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Склярів Р.А.								29	27
Реценз.								ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м.Тернопіль		
Н. Контр.	Кодельник В. Р.									
Затверд.	Крцпа В.В.									

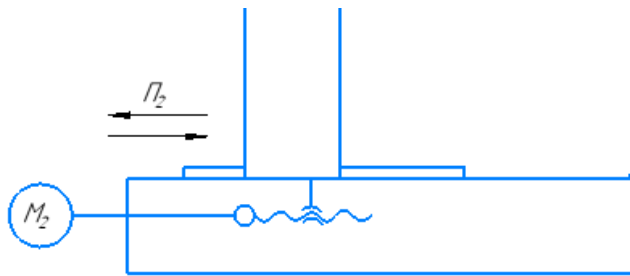


Рисунок 3.2 - КЛ переміщення стойки верстату в горизонтальній площині

КЛ переміщення шпиндельного вузла верстату в вертикальній площині (див. рис. 3.3) отримує рух від крокового електродвигуна M_3 через передачу гвинт-гайка кочення. На стійці є вертикальні направляючі по яких опускається та підіймається шпиндельний вузол.

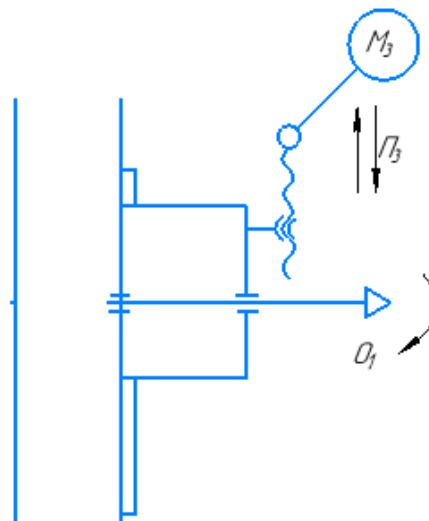


Рисунок 3.3 - КЛ переміщення шпинделя верстату в вертикальній площині

КЛ поперечного переміщення столу верстату (див. рис. 3.4) отримує рух від крокового електродвигуна M_4 через передачу гвинт-гайка кочення.

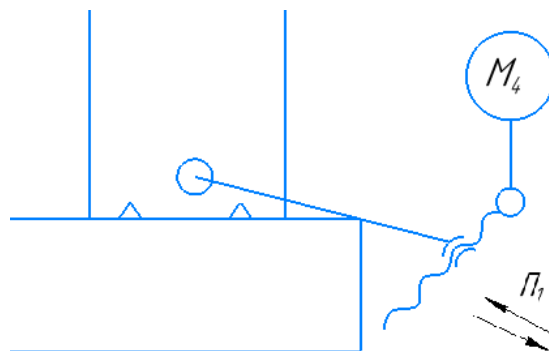


Рисунок 3.4 - КЛ поперечного переміщення столу верстату

КЛ кругового переміщення столу (див. рис. 3.5) в якості приводу отримує рух від крокового електродвигуна M_5 через черв'ячну передачу. Стіл має змогу обертатися навколо своєї осі, що дозволяє здійснювати обробку деталі з чотирьох сторін.

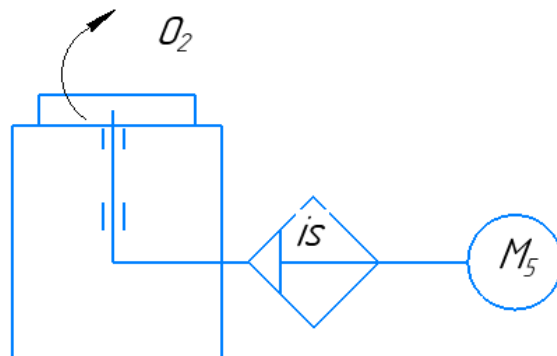


Рисунок 3.5 - КЛ кругового переміщення столу

КЛ приводу інструментального магазину в якості джерела руху використовує окремий кроковий електродвигун M_5 , далі через зубчасту передачу приводить в рух обертовий магазин з інструментами. Даний КЛ приведений на рис. 3.6.

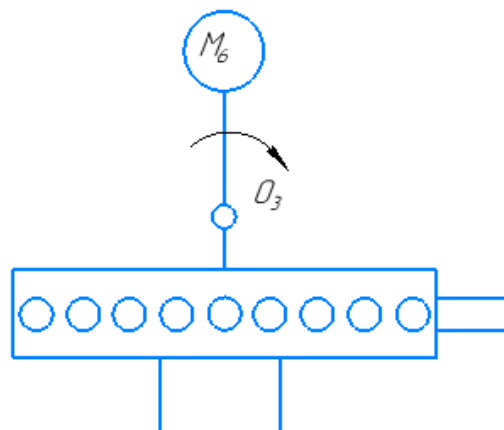


Рисунок 3.6 - КЛ приводу інструментального магазину

Після того як ми розробили кінематичні ланцюги окремих вузлів верстату синтезуємо загальну структурно-кінематичну схему верстату, її приведено на рис. 3.7.

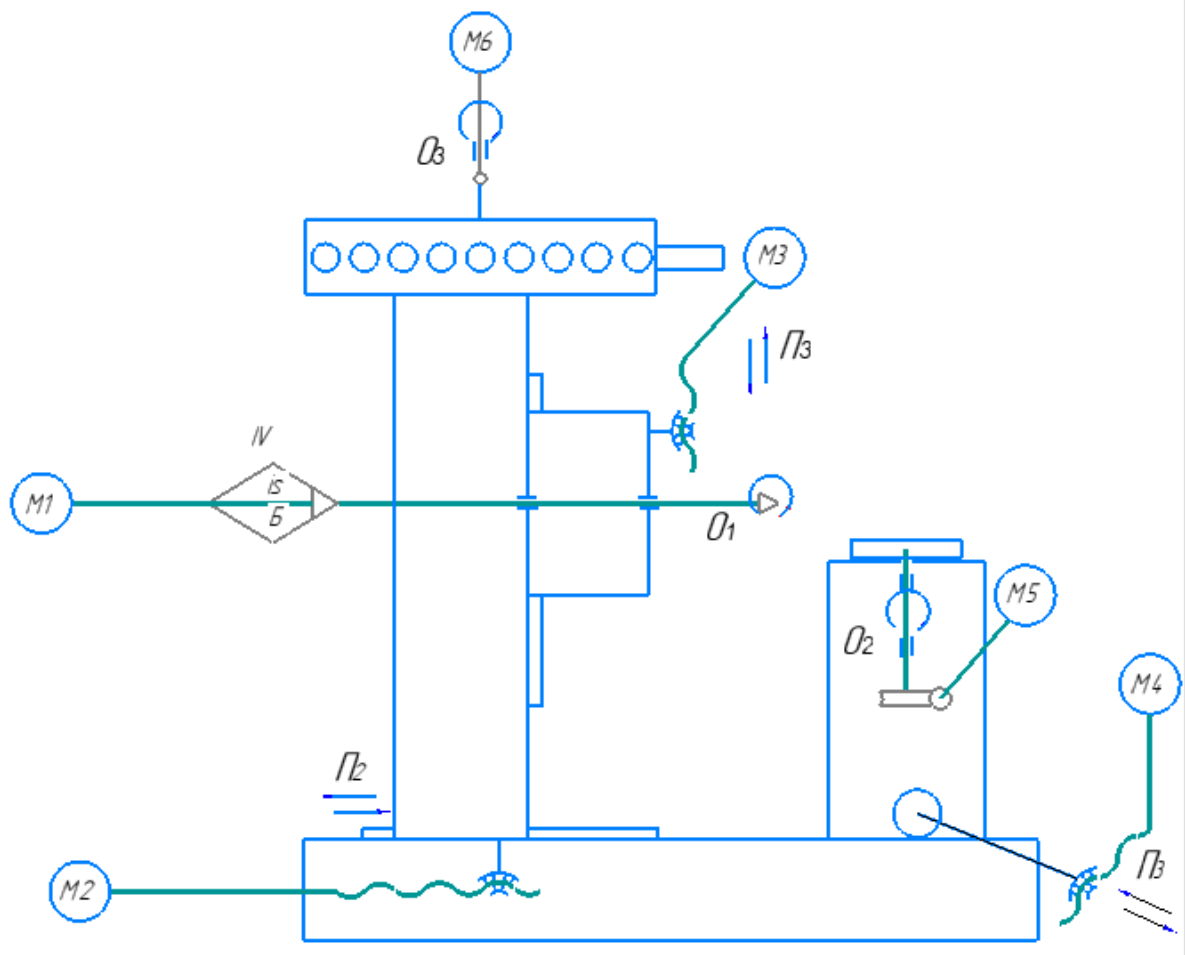


Рисунок 3.7 – Розроблена структурно-кінематична схема верстату

3.2 Обґрунтування технічних характеристик верстата

Проекований багатоцільовий верстат може використовуватись для обробки деталей зі сталі, чавуну, а також кольорових металів та сплавів. На обґрунтування технічних характеристик верстату впливають такі фактори як габаритний розмір столу, максимальний та мінімальний розмір інструменту, матеріал деталі, величина глибини різання, подачі, швидкості різання та граничні частоти обертання.

Так конструктивні характеристики вузлів верстату обмежують допустимі розміри інструментів які можуть використовуватись при обробці деталей. На їх вибір впливають габаритні розміри столу, а саме його ширина та довжина [28].

Так базова модель верстату має наступні габаритні розміри:

- ширина столу, $B = 500$ мм;
- довжина столу, $L = 500$ мм.

Виходячи з цих параметрів, розрахунок граничних діаметрів інструменту виконується за формулами:

Для операції чорнового фрезерування торцевою фрезою:

$$\begin{aligned} D_{max} &= (0.2 \div 0.3) \cdot B \\ D_{min} &= (0.2 \div 0.5) \cdot D_{max} \\ L_{max} &= 0.5 \cdot L \\ L_{min} &= 0.5 \cdot L_{max} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Після розрахунків отримаємо:

$$\begin{aligned} D_{max} &= (0.2 \div 0.3) \cdot 500 = 100 \div 150 \text{ мм} \\ D_{min} &= (0.2 \div 0.5) \cdot (100 \div 150) = 20 \div 75 \text{ мм} \\ L_{max} &= 0.5 \cdot 500 = 250 \text{ мм} \\ L_{min} &= 0.5 \cdot 250 = 125 \text{ мм} \end{aligned}$$

Визначаємо розмір кінцевих фрез виходячи із діаметру торцевих фрез:

$$D_{кінmin} = (0.1 \div 0.12) \cdot D_{торmax} \quad (3.2)$$

Після підстановки отримаємо визначаємо:

- для нижньої межі (мінімум): $D_{кінmin_n} = 0.1 \cdot 100 = 10$ мм
- для верхньої межі (максимум): $D_{кінmin_b} = 0.12 \cdot 150 = 18$ мм

Отже рекомендований діапазон мінімального діаметру кінцевих фрез становить $10 \div 18$ мм, що повністю узгоджується з попередньо визначеним діапазоном для торцевих фрез.

Приведені розрахункові значення діаметру кінцевої фрези є рекомендованими для площинної обробки, коли фреза обробляє відносно велику поверхню. Для локальної прецизійної обробки (наприклад при формуванні пазів чи кишень), доцільно застосовувати фрези менших діаметрів.

Основним параметром, що визначає вибір свердла, є його максимальний діаметр, який допустимий для багатоцільових верстатів. Згідно рекомендацій приймаємо $D = 40$ мм.

Тоді мінімальний діаметр свердління визначається за виразом:

$$D_{min} = (0.15 \div 0.25) \cdot D \quad (3.3)$$

$$D_{min} = (0.15 \div 0.25) \cdot 40 = 6 \div 10 \text{ мм}$$

Раніше обраний нами інструмент перебуває в межах зазначеного діапазону, що підтверджує відповідність конструктивним і технологічним вимогам.

Розглянемо які рекомендовані значення глибини різання при чорновому фрезеруванні за один прохід [26]:

$$t_{max} = P_{max} - P_{чист} \quad (3.4)$$

де P_{max} – максимальний припуск на одну сторону, мм;

$P_{чист}$ – чистовий припуск, мм.

Для всіх розмірів оброблюваних матеріалів $P_{чист} = 0.5$ мм.

Максимальний припуск на одну сторону оброблюваної заготовки буде залежати від матеріалу, з якого виготовлена деталь.

Так для деталі виготовленої зі сталі $P_{max} = 6$ мм.

Для деталі виготовленої з чавуну $P_{max} = 5$ мм.

Для деталі виготовленої з міді чи алюмінію $P_{max} = 3.5$ мм

Тоді максимальна глибина різання при чорновій відповідно буде становити:

- для сталі $t_{max} = 6 - 0.5 = 5.5$ мм;
- для чавуну $t_{max} = 5 - 0.5 = 4.5$ мм;
- для міді чи алюмінію $t_{max} = 3.5 - 0.5 = 3.0$ мм.

При чистовій обробці глибина різання приймається рівною чистовому припуску і буде становити:

- для сталі $t_{min} = 0.5$ мм;
- для чавуну $t_{min} = 0.5$ мм;
- для міді чи алюмінію $t_{min} = 0.5$ мм.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Важливим фактором є вибір граничних значень подач S_{max} та S_{min} , їх слід призначити для всіх видів оброблюваного матеріалу та в залежності від призначеного інструменту.

Для визначення значень подач при фрезеруванні слід скористатись аналітичною залежністю:

$$S = S_T \cdot K_{su} \cdot K_{sr} \cdot K_{sf} \quad (3.5)$$

де S_T – значення подачі на зуб, мм (обирається на основі таблиць);

K_{su} – коефіцієнт, що дозволяє врахувати матеріал фрези;

K_{sr} – коефіцієнт, що дозволяє врахувати досягну точність оброблюваної поверхні;

K_{sf} – коефіцієнт, що дозволяє врахувати особливості форми оброблюваної поверхні.

Для визначення значень подач при свердлінні слід скористатись аналітичною залежністю:

$$S = S_T \cdot K_{sl} \cdot K_{sr} \cdot K_{sj} \cdot K_{su} \cdot K_{sd} \cdot K_{sm} \quad (3.6)$$

де S_T – значення подачі, мм (обирається на основі таблиць);

K_{sl} – значення коефіцієнту, що враховує глибину свердління;

K_{sj} – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи, $K_{sj} = 0.75$;

K_{su} – коефіцієнт, що дозволяє врахувати матеріал свердла;

K_{sd} – коефіцієнт, який враховує тип оброблюваного отвору;

K_{sm} – коефіцієнт, що враховує тип оброблюваного матеріалу.

Для визначення значень подач при розточуванні слід скористатись аналітичною залежністю:

$$S = S_T \cdot K_{sp} \cdot K_{su} \cdot K_{sf} \cdot K_{sz} \cdot K_{sj} \cdot K_{sm} \quad (3.7)$$

де S_T – значення подачі, мм (обирається на основі таблиць);

K_{sp} – коефіцієнт, що дозволяє врахувати стан поверхні, яка обробляється;

K_{su} – коефіцієнт, що дозволяє врахувати матеріал інструменту;

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

K_{sf} – коефіцієнт, що дозволяє врахувати особливості форми оброблюваної поверхні;

K_{sz} – коефіцієнт, що дозволяє врахувати вплив загартування;

K_{sj} – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи, $K_{sj} = 0.75$;

K_{sm} – коефіцієнт, що враховує тип оброблюваного матеріалу.

Оскільки для розрахунку ми використовуємо табличні значення коефіцієнтів, то всі результати розрахунків ми зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1. Граничні значення подачі при різних видах обробки

Параметр	Сталь	Чавун	Мідь чи алюміній
фрезерування			
S_{max} , мм/об	0.09	0.15	0.165
S_{min} , мм/об	0.017	0.03	0.031
свердління			
S_{max} , мм/об	0.285	0.57	0.57
S_{min} , мм/об	0.008	0.016	0.016
розточування			
S_{max} , мм/об	0.06	0.075	0.075
S_{min} , мм/об	0.006	0.007	0.007

Використовуючи довідникову літературу систематизуємо значення щодо граничних значень швидкостей різання, результати цього приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Граничні значення швидкості різання при різних видах обробки

Параметр	Сталь	Чавун	Мідь чи алюміній
фрезерування			
V_{max} , м/хв	164	141	450
V_{min} , м/хв	147	112	415
свердління			
V_{max} , м/хв	38	48	96
V_{min} , м/хв	20	25	20
розточування			
V_{max} , м/хв	306	179	600
V_{min} , м/хв	20	21	35

Для визначення граничних частот обертання шпинделя верстату скористаємось наступними аналітичними залежностями [29]:

$$n_{max} = \frac{1000 \cdot V_{max}}{\pi \cdot D_{min}} \quad (3.8)$$

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot V_{min}}{\pi \cdot D_{max}} \quad (3.9)$$

Результати проведених розрахунків зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3. Граничні значення частот обертання шпинделя

Параметр	Розрахункове значення
фрезерування	
n_{max} , об/хв	1592
n_{min} , об/хв	79
свердління	
n_{max} , об/хв	3076
n_{min} , об/хв	127
розточування	
n_{max} , об/хв	1526
n_{min} , об/хв	13.4

На основ отриманих розрахунків визначаємо граничні частоти обертання шпинделя:

$$n_{max} = 3076 \text{ об/хв}$$

$$n_{min} = 13.4 \text{ об/хв}$$

Для приведення до стандартного ряду переважних чисел приймаємо:

$$n_{max} = 3150 \text{ об/хв}$$

$$n_{min} = 22.4 \text{ об/хв}$$

Проведемо розрахунок ефективної потужності різання при найбільш навантажених режимах обробки для різних операцій, результати розрахунків зведемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Ефективна потужність різання при важких режимах обробки

Параметр	Сталь	Чавун	Мідь чи алюміній
фрезерування			
Глибина різання, мм	5.0	4.5	3.0
Подача на зуб, мм	0.07	0.09	0.15
К-сть зубів (z)	7	7	7
Швидкість різання, м/хв	64	65	88
Потужність $N_{\text{еф}}$, кВт	≈ 4.70	≈ 3.77	≈ 3.65
свердління			
Діаметр свердла, мм	40	40	40
Глибина різання, мм	40	40	40
Подача, мм/об	0.20	0.30	0.35
К-сть ріжучих кромок z	2	2	2
Швидкість різання, м/хв	25	25	28
Потужність $N_{\text{еф}}$, кВт	≈ 4.64	≈ 4.30	≈ 3.80
розточування			
Діаметр обробки, мм	125	125	125
Глибина різання, мм	2.0	2.0	2.0
Подача, мм/об	0.055	0.065	0.08
К-сть лез (z)	1	1	1
Швидкість різання, м/хв	115	130	145
Потужність $N_{\text{еф}}$, кВт	≈ 4.68	≈ 4.25	≈ 3.62

3.3 Визначення діапазону регулювання та розробка кінематичної схеми верстату

Попередній аналіз конструктивних особливостей багатоопераційних верстатів показав, що їх оснащують приводами, для яких характерні підвищені потужнісні характеристики. Це в основному зумовлено потребою забезпечити максимальну продуктивність обробки (вирішується питання збільшення об'єму матеріалу, що знімається в процесі різання, за одиницю часу).

Методика розрахунку діапазон швидкості обертання для багатоцільових верстатів є усталеною, вона забезпечує відповідність умовам обробки різноманітних матеріалів з використанням широкого переліку технологічних операцій та переходів.

Переважна більшість багатоцільових верстатів використовує безступеневе регулювання швидкості обертання шпинделя. Хоча не виключаються конструкції в яких поєднують безступеневе та ступеневе регулювання. Для забезпечення плавності переходів між ступенями рекомендують використовувати коефіцієнт прогресії ряду швидкостей, що не перевищує значення $\varphi \leq 1.41$.

Сучасні багатоцільові верстати в якості приводів використовують двигуни постійного струму з тиристорною системою керування, які дозволяють реалізувати двозонне регулювання, яке може відбуватися у зоні постійного моменту $R_{\text{дм}}$ та постійної потужності $R_{\text{др}}$. Також регулювання може забезпечуватися механічною коробкою швидкостей, діапазон регулювання якої $R_{\text{м}}$. У відповідності до усталеної методики величина діапазону електроприводу може бути обчислена через добуток обох зон [30].

Так для визначення діапазону регулювання в зоні сталої потужності шпиндельного вузла застосовується аналітична залежність:

$$R_{\text{р}} = R_{\text{др}} \cdot R_{\text{м}} \quad (3.10)$$

де $R_{\text{р}}$ – загальний діапазон регулювання при постійній потужності;

$R_{\text{др}}$ – електричне регулювання при постійній потужності;

$R_{\text{м}}$ – механічне регулювання (через коробку передач).

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Значення загального діапазону регулювання частоти обертання шпинделя можна визначити із аналітичної залежності:

$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad (3.11)$$

Значення діапазону регулювання безпосередньо для двигуна:

$$R_{др} = \frac{n_{дmax}}{n_{дн.}} \quad (3.12)$$

При умові, що в приводі є ступенева коробка передач, то тоді діапазон регулювання буде визначатися із виразу:

$$R_M = \varphi_1^{z-1} \quad (3.13)$$

де φ_1 – рекомендоване значення коефіцієнту прогресії;

z – кількість ступенів коробки передач.

В літературі розглядають випадки, коли двигун може забезпечувати безступеневе регулювання частоти обертання вихідного валу на двох ділянках, а саме постійної потужності або моменту. Тоді розрахунок оптимального числа ступенів коробки швидкостей можна дещо уніфікувати:

$$z = \frac{k - k'}{k_m - k'} \quad (3.14)$$

де k – значення кількості інтервалів у повному діапазоні регулювання R ;

k_m – кількість інтервалів в зоні механічного регулювання R_M ;

k' - кількість інтервалів, які перекривають зони регулювання.

Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість механічних ступенів, уникнути надмірного поділу діапазонів та забезпечити повне охоплення частот обертання. У випадку, коли перекриття відсутнє, при $k' = -1$, ми отримаємо:

$$z_{min} = \frac{k + 1}{k_m + 1}$$

Якщо в результаті розрахунків ми отримаємо $z_{min} \leq 2$, то для приводу верстату можна використовувати двоступеневу коробку. Якщо $z_{min} > 2$, то тоді краще використати триступеневу коробку, або верстат може мати короткий неперекритий інтервал.

Попередній аналіз літератури показав, що в багатоцільових верстатах з ЧПК переважно знаходять реалізацію схеми зі ступеневим регулюванням частоти обертання шпинделя. Це дозволяє здешевити вартість електроприводу і забезпечити його достатню точність. Для таких верстатів рекомендують застосовувати ряд частот обертання з фіксованим знаменником φ , якому переважно присвоюють значення $\varphi = 1.12$ (в рідкісних випадках $\varphi = 1.06$).

Для визначення φ використовують вираз:

$$\varphi = \sqrt[l]{\varphi_1} \quad (3.15)$$

де φ_1 – загальне значення коефіцієнту піддіапазону (як варіант R_p або R_M);

l – кількість поділів (інтервалів) частот в піддіапазоні.

У відповідності до попередньо проведених розрахунків наш привід повинен забезпечити наступні режими:

- при постійній потужності $n = 1000 \div 3150$ об/хв;
- при постійному моменті $n = 22.4 \div 1000$ об/хв.

Підставляючи значення в вираз (3.11), визначаємо діапазон регулювання:

$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{3150}{22.4} = 140.62 \approx 140$$

Діапазон регулювання для електроприводу буде становити:

$$R_d = \frac{n_{dmax}}{n_{dmin}} = \frac{1000}{22.4} = 44.64 \approx 45;$$

Діапазон регулювання приводу при постійній потужності:

$$R_{dp} = \frac{n_{dmax}}{n_{dн.}} = \frac{3150}{600} = 5.25 \approx 5$$

Діапазон регулювання приводу при постійному моменті:

$$R_{дМ} = \frac{R_{д}}{R_{дР}} = \frac{45}{5} = 9$$

Діапазон регулювання шпинделя при постійній потужності:

$$R_{Р} = \frac{R}{R_{дМ}} = \frac{140}{9} \approx 16$$

Задаючись значенням $\varphi_1 = R_{дР} = 5$, визначаємо яку кількість ступенів повинна забезпечити коробка передач:

$$z = \frac{\lg R_{Р}}{\lg \varphi_1}$$
$$z = \frac{\lg 16}{\lg 5} = \frac{1.204}{0.698} = 1,724$$

Оскільки значення z не є цілим, то приймаємо найближче більше ціле: $z = 2$. Отже, необхідно використати двоступеневу коробку передач, що забезпечить повне перекриття діапазону при постійній потужності.

Виходячи з того, що ми прийняли двоступеневу коробку швидкостей, то величину її загального діапазону ми обчислюємо за виразом:

$$R_{М} = \varphi^{z-1} = 5^{2-1} = 5.$$

Далі нам потрібно визначити повний діапазон при електричному регулюванні, він буде становити:

$$R_{е} = \frac{R}{R_{М}} = \frac{140}{5} = 28$$

Даний діапазон дозволяє забезпечити сталу передачу потужності в межах частотного регулювання, при цьому не має потреби здійснювати перемикання передач, так як вони будуть знаходитись в межах піддіапазону.

Згідно методики розрахунку нам необхідно визначити межі частот обертання по діапазонах.

Мінімальне значення частоти буде становити:

- для першого піддіапазону: $n_{1min} = 22,4$ об/хв;
- для другого піддіапазону: $n_{2min} = n_{1min} \cdot \varphi_1 = 22,4 \cdot 5 = 112$ об/хв.

Для зони сталої потужності повний діапазон буде розраховуватись за виразом:

$$R_p = R_{дp} \cdot R_M = 5 \cdot 5 = 25$$

При цьому значення найнижчої частоти шпинделя при постійній потужності буде визначатись:

$$n_{pmin} = \frac{n_{max}}{R_p} = \frac{1000}{25} = 40 \text{ об/хв}$$

Максимальне значення частоти буде становити:

- для першого піддіапазону: $n_{1max} = n_{pmin} \cdot \varphi_1 = 40 \cdot 5 = 200 \text{ об/хв}$;
- для другого піддіапазону: $n_{2max} = n_{1max} \cdot \varphi_1 = 200 \cdot 5 = 1000 \text{ об/хв}$.

Перед побудовою таблиці швидкостей та графіку структурної сітки слід прийняти знаменник φ , приймаємо $\varphi = 1.26$. Прийняте значення буде забезпечувати більш щільне перекриття частот в кожному піддіапазоні.

В таблиці 3.5. приведено структурну шкалу регулювання обертів шпинделя для багатоцільового верстату, яке дозволяє реалізувати комбіновану систему керування обертами шпиндельного вузла верстату.

Таблиця 3.5 Структурна шкала регулювання обертів шпинделя

Зона	Діапазон n_z , об/хв	Джерело регулювання	Діапазон (R)
Постійного моменту $R_{дм}$	22.4– 600	Електропривід (в зоні сталою моменту)	≈ 9
Постійної потужності $R_{дp}$	600– 3150	Електропривід (в зоні сталої потужності)	≈ 5.25
Механічне регулювання R_M	При перемиканні передач	Коробка передач ($i = 1.072/5.166$)	≈ 5.0
Загальний діапазон R	22.4– 3150	Сукупно: електричне і механічне регулювання	≈ 140

Графічно це представлено на рис. 3.8, такий поділ дозволяє візуально співвідносити діапазони регулювання з режимами роботи електроприводу та особливостями його кінематичної схеми коробки передач.

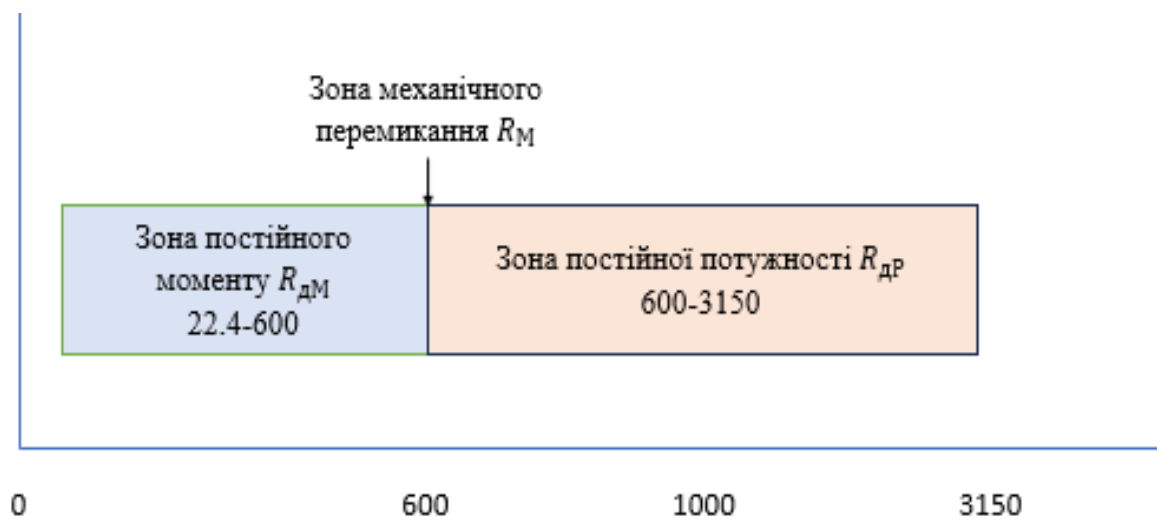


Рисунок 3.8 - Зони регулювання частоти обертання шпинделя та механічного перемикання

Проведемо підбір кількості зубів для кожного колеса проектованої коробки швидкостей. При цьому будемо виходити з наступних міркувань:

- прийняті значення повинні забезпечувати точні передаточні відношення;
- кількість зубів повинна бути $z \geq 20$ – згідно рекомендацій для ряду стандартних значень;
- прийняті числа повинні узгоджуватись з вимогами по габаритах, зчепленню та міжосьової відстані між валами.

Так для першої передачі приймаємо пару коліс: $z_1 = 28$ і $z_2 = 56$, підібрані значення кількості зубів дозволяють забезпечити передаточне число $i_1 = z_2/z_1 = 56/28 = 2.0$.

З другого на третій вал є два шляхи передачі обертів – прямий та через занижену передачу. Призначаємо пари коліс для цих випадків:

- $z_2 = 56$ і $z_3 = 30$; $i_{21} = 30/56 = 0.536$;
- $z_4 = 24$ і $z_5 = 62$; $i_{22} = 62/24 = 2.583$;

Зведену інформацію про колеса, функції які вони виконують та передаточні відношення приведено в таблиці 3.6, а розроблені кінематична схема приводу головного руху наведена на рис. 3.9.

Таблиця 3.6 – Характеристики зубчастих коліс та їх передаточні відношення

№ колеса	Число зубів	Передаточне число пари	Функціональне призначення
z_1	28	—	Ведуче колесо на валу I електродвигуна M_1 . Постійно зчеплене з колесом z_2
z_2	56	$56/28 \approx 2.0$	Ведене колесо першої пари. Разом із z_4 утворює рухомий блок на валу II
z_4	24	—	Ведуче колесо другої пари. Передає обертання на z_5 у режимі зниженої передачі
z_3	30	$30/56 \approx 0.536$	Ведене колесо прямої передачі. Отримує обертання від z_2
z_5	62	$62/24 \approx 2.583$	Ведене колесо зниженої передачі. Зачеплене з z_4

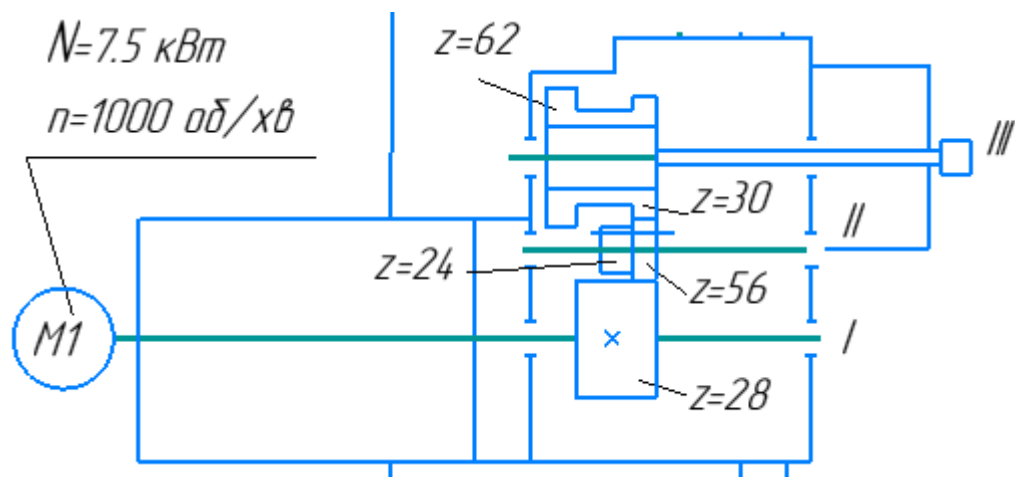


Рисунок 3.9 – Кінематична схема приводу головного руху проектуваного верстату

Поеднаємо режими двигуна та двоступеневої коробки передач, для якої обираємо $\varphi = 1.26$. Розрахуємо значення частот при комбінованому регулювання, результати зведемо в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 Розрахункові значення частот при комбінованому регулюванні

№ ступеня	Частота, об/хв	Привідний режим	Піддіапазон (ступінь передачі)
1	22.4	Постійний момент	Нижній ($i = 2.583$)
2	28.22		
3	35.55		
4	44.80		
5	56.45		
6	71.13		
7	89.63		
8	112.94		
9	142.31	Стала потужність	Верхній ($i = 0.536$)
10	179.31		
11	226.93		
12	286.93		
13	362.54		
14	458.80		
15	580.08		
16	730.90		
17	921.93		
18	1162.63		
19	1465.71		
20	1848.79		
21	2339.49		
22	2967.74		

Побудуємо структурну сітку з графіком чисел обертів, їх представлено на рис. 3.10.

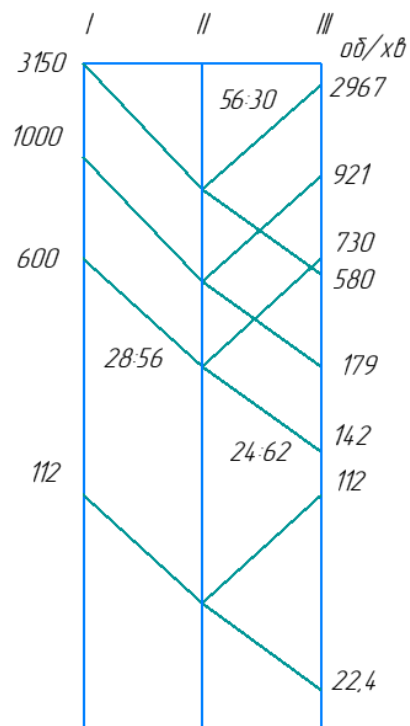


Рисунок 3.10 - Структурна сітка частот шпинделя при $\phi = 1.26$ та двоступеневій коробці передач

Загальний вигляд верстату з його кінематичною схемою приведено на рис. 3.11.

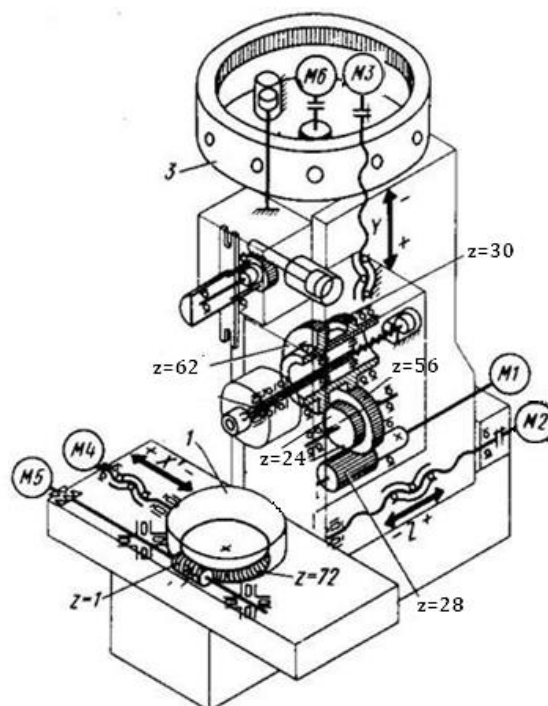


Рисунок 3.11 – Загальна кінематична схема верстату

3.4 Розрахунок потужності приводу головного руху

По значенню ефективної потужності різання і коефіцієнту корисної дії верстату підбираємо потужність електродвигуна для приводу верстату [30].

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{еф}}}{\eta \cdot 0.8} + N_{\text{х.х.}}, \text{ кВт} \quad (3.16)$$

Значення ефективної потужності різання нами було розраховано в п.3.2.1, а саме в табл. 3.4. Максимальне значення $N_{\text{еф}} = 4.7$ кВт.

Для розрахунку ККД приводу головного руху скористаємось виразом:

$$\eta = \eta_{\text{зп}}^2 \cdot \eta_{\text{підш}}^3 \quad (3.17)$$

де $\eta_{\text{зп}} = 0.99$ – ККД зубчастої передачі;

$\eta_{\text{підш}} = 0.985$ – ККД підшипників кочення.

$$\eta = 0.99^2 \cdot 0.985^3 = 0.934$$

Далі визначаємо можливі втрати потужності на холостому ході:

$$N_{\text{х.х.}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot d_{\text{ср}} \cdot (n_I + n_{II} + \dots + C \cdot \frac{d_{\text{шп}}}{d_{\text{ср}}} \cdot n_{\text{шп}}) \quad (3.18)$$

де $d_{\text{ср}}$ – середнє арифметичне значення $\emptyset$ всіх опорних шийок валів без шпинделя, мм; $d_{\text{ср}} \approx 60$ мм;

$d_{\text{шп}}$ – середнє арифметичне значення $\emptyset$ опорних шийок шпинделя, мм;

$d_{\text{шп}} = 110$ мм;

C – коефіцієнт рівний 4 для шпинделя змонтованого на підшипниках кочення;

$n_I, n_{II}, \dots, n_{\text{шп}}$ – частоти обертання валів і шпинделя (об/хв.).

$$n_I = n_{\text{дв}} = 1000 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}} = 2000 \text{ об/хв}$$

$$N_{\text{х.х.}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 60(1000 + 500 + 4 \cdot \frac{110}{60} \cdot 2000) = 0.712 \text{ кВт.}$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{еф}}}{\eta} + N_{\text{х.х.}} = \frac{4.7}{0.934 \cdot 0.8} + 0.712 \approx 7.0 \text{ кВт}$$

Приймаємо $N_{\text{дв}} = 7.5$ кВт

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.5 Визначення крутних моментів та швидкостей на валах приводу

Для визначення крутних моментів на валах скористаємось виразом [29]:

$$T_{\text{пр}} = 9930 \cdot \frac{N_{\text{еф}}}{n_{\text{розр}}} \quad (3.19)$$

де $T_{\text{пр}}$ – крутний момент, Н · м;

$N_{\text{еф}}$ – ефективна потужність різання, кВт; $N_{\text{еф}} = 4.7$ кВт;

$n_{\text{розр}}$ – значення мінімальної частоти обертання валу, при якому може бути реалізована потужність електродвигуна (обираємо за табл. 3.7); згідно розрахунків $n_{\text{розр}} = 142.3$ об/хв.

Розрахунки проведемо для вітки, яка забезпечує, а саме:

$$n_{\text{розр}_1} = 735 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{розр}_2} = n_{\text{розр}_1} \cdot i_1 = 735 \cdot \frac{28}{56} = 367.5 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{розр}_3} = n_{\text{розр}_1} \cdot i_2 = 735 \cdot \frac{56}{30} = 1372.2 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{розр}_{\text{шп}}} = n_{\text{розр}_2} \cdot i_2 = 367.5 \cdot \frac{24}{62} = 142.1 \text{ об/хв}$$

Розрахуємо значення крутний моменту на вхідному валу коробки, він буде становити:

$$T_{\text{пр}_1} = 9930 \cdot \frac{4.7}{735} = 63.5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальне розрахункове значення крутного моменту на другому валу буде:

$$T_{\text{пр}_2} = 9930 \cdot \frac{4.7}{367.5} = 127 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_{\text{пр}_3} = 9930 \cdot \frac{4.7}{1372.2} = 34 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Найбільший крутний момент на шпинделі становить:

$$T_{\text{пр}_{\text{шп}}} = 9930 \cdot \frac{4.7}{142.1} = 328.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Далі визначаємо значення кутових швидкостей на валах:

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (3.20)$$

де n - частота обертання відповідно валу, об/хв.

Значення кутової швидкості вхідного валу буде становити:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3.14 \cdot 735}{30} = 76.9 \text{ рад/с}$$

Кутова швидкість, найбільша на другому та третьому валу:

$$\omega_2 = \frac{3.14 \cdot 367.5}{30} = 38.5 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3 = \frac{3.14 \cdot 1372.2}{30} = 143.6 \text{ рад/с}$$

Кутова швидкість на шпинделі:

$$\omega_{\text{шп}} = \frac{3.14 \cdot 142.1}{30} = 14.9 \text{ рад/с}$$

3.6 Розрахунок модуля передач та параметрів зубчастих коліс

Згідно усталеної методики розрахунок слід проводити для останньої передачі коробки швидкостей, вона повинна бути розташована на третині висоти від нижньої межі графіка чисел обертів шпинделя. Даний режим вважається критичним в плані навантаження, на його основі проводимо оцінку міцності передачі та вибираємо геометричні параметри зачеплення.

Визначаємо міжосьову відстань, для цього скористаємось виразом:

$$a_w = K_a \cdot (U + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot 10^3}{\psi_a \cdot U^2 \cdot [\sigma]_H^2} \cdot K_{H\beta}} \quad (3.21)$$

де K_a – допоміжний коефіцієнт (для прямозубої передачі $K_a = 49.5$);

ψ_a - значення коефіцієнту ширини вінця колеса (для консольної шестерні $\psi_a = 0.25$);

T_2 - крутний момент на валу, Н · м; $T_2 = 328.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

U – передаточне число передачі; $U = 2.58$;

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$[\sigma]_H$ – допустиме контактне напруження колеса, Н/мм²; $[\sigma]_H = 1000 \text{ Н/мм}^2$;
 $K_{H\beta}$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження; $K_{H\beta} = 1$.

Після підстановки отримаємо:

$$a_w = 49.5 \cdot (2.58 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{328.6 \cdot 10^3}{0.25 \cdot 2.58^2 \cdot 1000^2}} \cdot 1 = 103.4 \text{ мм}$$

Визначаємо модуль зубчастого зачеплення:

$$m \geq \frac{2 \cdot K_m \cdot T_2 \cdot 10^3}{d_2 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_F} \quad (3.22)$$

де m – модуль зачеплення, мм;

K_m – допоміжний коефіцієнт (для прямозубої передачі $K_m = 6.8$);

d_2 – дільний діаметр колеса, мм; $d_2 = \frac{2 \cdot a_w \cdot U}{U+1}$;

b_2 – ширина вінця колеса, мм; $b_2 = \psi_a \cdot a_w$;

$[\sigma]_F$ – допустима напруга згину колеса, Н/мм²; $[\sigma]_F = 370 \text{ Н/мм}^2$.

Розрахуємо спочатку дільний діаметр колеса та ширину вінця:

$$d_2 = \frac{2 \cdot 103.4 \cdot 2.58}{2.58 + 1} = 149 \text{ мм}$$

$$b_2 = 0.25 \cdot 103.4 = 25.85 \text{ мм}$$

Тоді розрахункове значення модуля буде становити:

$$m \geq \frac{2 \cdot 6.8 \cdot 328.6 \cdot 10^3}{103.4 \cdot 25.85 \cdot 370} = 2.84$$

Оскільки розрахункове значення не належить до стандартного ряду модулів по ISO 54, з метою уніфікації та забезпечення додаткового запасу міцності приймаємо $m = 3$.

Після цього визначаємо величину міжосьової відстані, яку отримали з модуля передачі:

$$a = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2} \quad (3.23)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$a = \frac{3 \cdot (24 + 62)}{2} = 129 \text{ мм}$$

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Оскільки отримане значення $a > a_w$, то прийняте значення модуля забезпечує міцність передачі по згину і контактній міцності. Для решти пар зубчастих коліс приймаємо значення модуля $m = 3$.

Далі проведемо конструктивний розрахунок коліс для розробленої коробки приводу головного руху.

3.7 Автоматизований розрахунок коробки приводу головного руху

Для розрахунку параметрів зубчастої передачі ми використовуємо спеціалізований пакет інженерного програмного забезпечення «Комплекс інженерних розрахунків», в основі роботи якого лежить загальновизнана методика проектування зачеплень, що враховує діючі стандарти та рекомендації.

Для розрахунку ми обираємо конфігурацію зубчастої пари з кількістю зубців $z_1 = 24$ та $z_2 = 62$, які забезпечують передаточне відношення, що становить $U = 0.387$. Також для розрахунку прийmemo значення модуля, що яке буде становити $m = 3$, а також відношення ширини зубчастого вінця до діаметру $\psi_a = 0.3$.

Дана програма дозволяє в діалоговому режимі провести комплексний аналіз напруженого стану пари під дією зовнішнього крутного моменту, враховуючи матеріали шестерні та колеса, та їх геометричні і кінематичні характеристики. На рис. 3.12 приведені результати загального (проектного) розрахунку, а на рис. 3.13 - перевірного розрахунку.

Результат розрахунку показав, що при заданих параметрах передача працює в межах допустимих значень контактних і згинальних напружень, що свідчить про ефективність початкового вибору геометрії та обраного модуля.

Розрахунок зубчастих коліс

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ДОВІДКА ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	
Ном. частота обертання шестерні (1/хв)	813
Макс. частота обертання колеса (1/хв)	315
Потужність передачі (кВт)	7,5
Кут нахилу зуба (градуси)	0
Відношення ширини зубч. вінця до діаметру	0.3
Передаточне відношення	0.388
Ступінь точності передачі	7

МАТЕРІАЛ	
Допустимі контактні напруги (МПа)	1000
Допустимі напруги на згин (МПа)	370

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ													
z1	z2	mk, мм	mi, мм	mct, мм	aw, мм	bw, мм	vmax, м/с	dw1, мм	dw2, мм	Ft, Н	Fr, Н	Fo, Н	
17	44	3.901	3.328	4	122.00	20.40	1.12	68	176	2593	943	0	
18	46	3.684	3.190	4	128.00	21.60	1.19	72	184	2448	891	0	
19	49	3.490	3.061	3.5	119.00	19.95	1.10	66.5	171.5	2651	964	0	
20	51	3.316	2.945	3.5	124.25	21.00	1.15	70	178.5	2518	916	0	
21	54	3.158	2.839	3.5	131.25	22.05	1.21	73.5	189	2399	873	0	
22	56	3.014	2.743	3	117.00	19.80	1.09	66	168	2671	972	0	
23	59	2.883	2.655	3	123.00	20.70	1.14	69	177	2555	929	0	
24	62	2.763	2.574	3	129.00	21.60	1.19	72	186	2448	891	0	
25	64	2.652	2.499	3	133.50	22.50	1.24	75	192	2351	855	0	
26	67	2.550	2.430	2.5	116.25	19.50	1.07	65	167.5	2712	987	0	
27	69	2.456	2.365	2.5	120.00	20.25	1.11	67.5	172.5	2612	950	0	
28	72	2.368	2.305	2.5	125.00	21.00	1.15	70	180	2518	916	0	

СХЕМА ВСТАНОВЛЕННЯ



Прийняті позначення в таблиці результатів розрахунків:

Z1 - число зубів шестерні
 Z2 - число зубів колеса
 mk - розрахунковий модуль по контактних напругах
 mi - розрахунковий модуль по напругах на згин
 mct - стандартний модуль
 aw - міжосьова відстань
 bw - ширина зубчастого вінця
 vmax - колова швидкість на шестерні
 dw1 - дільний діаметр шестерні
 dw2 - дільний діаметр колеса
 Ft - тангенціальна сила в зачепленні
 Fr - радіальна сила в зачепленні
 Fo - осьова сила в зачепленні

Рисунок 3.12 – Результат розрахунку пари зубчастих коліс $z_1 = 24$ та $z_2 = 62$

ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД

Число зубів шестерні	24
Число зубів колеса	62
Модуль передачі, мм	3
Ширина зубчастого вінця, мм	21.6
Крутний момент, Нм	88
Частота вращения шестерни, об/мин	813

Розрахунок на контактну витривалість		Розрахунок на витривалість на згин	
Коефіцієнт торцевого перекриття	1.695	Коефіцієнт форми зуба	3.921
Коефіцієнт довжини контактних ліній	0.877	Коефіцієнт перекриття зубів	1.000
Коефіцієнт розподілення навантаження	1.086	Коефіцієнт розподілення навантаження	1.150
Коефіцієнт впливу виду передачі	0.010	Коефіцієнт впливу передачі	0.011
Коефіцієнт впливу різниці кроків	47	Коефіцієнт впливу різниці кроків	47
Колова швидкість мередачі, м/с	3.063	Колова швидкість передачі, м/с	3.063
Питома колова динамічна сила, Н/мм	10.17	Питома колова динамічна сила, Н/мм	11.19
Коефіцієнт динамічного навантаження	1.083	Коефіцієнт динамічного навантаження	1.086
Питома розрахункова колова сила, Н/мм	133.074	Питома розрахункова колова сила, Н/мм	141.292
Діючі контактні напруги, МПа	676.810	Діючі згинні напруги, МПа	184.649
Допустимі контактні напруги, МПа	1000	Допустимі згинні напруги, МПа	370

Рисунок 3.13 – Результат перевірного розрахунку зубчастих передач для коліс $z_1 = 24$ та $z_2 = 62$

Проведемо розрахунок для другої пари, для неї вихідними даними будуть: $z_1 = 26$ та $z_2 = 68$, $U = 0.382$, $m = 3$, $\psi_a = 0.25$. Отримані результати наведено на рис. 3.14 (основний розрахунок) та рис. 3.15 (перевірка міцності та жорсткості).

Розрахунок зубчастих коліс

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ДОВІДКА ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Ном. частота обертання шестерні (1/хв)	824,7
Макс. частота обертання колеса (1/хв)	215,8
Потужність передачі (кВт)	7,5
Кут нахилу зуба (градуси)	0
Відношення ширини зубч. вінця до діаметру	0,25
Передаточне відношення	0,382
Ступінь точності передачі	7

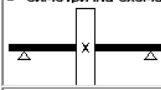
МАТЕРІАЛ

Допустимі контактні напруги (МПа)	1000
Допустимі напруги на згин (МПа)	370

СХЕМА ВСТАНОВЛЕННЯ

Код встановлення 2

1- симетрична схема



2- асиметрична схема



3- консольна схема



Прийняті позначення в таблиці результатів розрахунків:

Z1 - число зубів шестерні

Z2 - число зубів колеса

mk - розрахунковий модуль по контактних напругах

mi - розрахунковий модуль по напругах на згин

mst - стандартний модуль

aw - міжосьова відстань

bw - ширина зубчастого вінця

vmax - колова швидкість на шестерні

dw1 - дільний діаметр шестерні

dw2 - дільний діаметр колеса

Ft - тангенціальна сила в зачепленні

Fr - радіальна сила в зачепленні

Fo - осьова сила в зачепленні

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

z1	z2	mk, мм	mi, мм	mst, мм	aw, мм	bw, мм	vmax, м/с	dw1, мм	dw2, мм	Ft, Н	Fr, Н	Fo, Н	
17	45	4,100	3,496	4	124,00	17,00	0,77	68	180	2556	930	0	
18	47	3,872	3,351	4	130,00	18,00	0,81	72	188	2414	878	0	
19	50	3,669	3,216	3,5	120,75	16,63	0,75	66,5	175	2613	951	0	
20	53	3,485	3,094	3,5	127,75	17,50	0,79	70	185,5	2483	903	0	
21	55	3,319	2,983	3,5	133,00	18,38	0,83	73,5	192,5	2364	860	0	
22	58	3,168	2,882	3,5	140,00	19,25	0,87	77	203	2257	821	0	
23	61	3,031	2,789	3	126,00	17,25	0,78	69	183	2519	916	0	
24	63	2,904	2,704	3	130,50	18,00	0,81	72	189	2414	878	0	
25	66	2,788	2,625	3	136,50	18,75	0,85	75	198	2317	843	0	
26	68	2,681	2,553	3	141,00	19,50	0,88	78	204	2228	811	0	
27	71	2,582	2,485	2,5	122,50	16,88	0,76	67,5	177,5	2575	937	0	
28	74	2,489	2,421	2,5	127,50	17,50	0,79	70	185	2483	903	0	

Рисунок 3.14 – Результат розрахунку пари зубчастих коліс $z_1 = 26$ та $z_2 = 68$

ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД

Число зубів шестерні	26
Число зубів колеса	68
Модуль передачі, мм	3
Ширина зубчастого вінця, мм	19,5
Крутний момент, Нм	87
Частота вращення шестерни, об/мин	824,7

Розрахунок на контактну витривалість		Розрахунок на витривалість на згин	
Коефіцієнт торцевого перекриття	1,710	Коефіцієнт форми зуба	3,870
Коефіцієнт довжини контактних ліній	0,874	Коефіцієнт перекриття зубів	1,000
Коефіцієнт розподілення навантаження	1,074	Коефіцієнт розподілення навантаження	1,127
Коефіцієнт впливу виду передачі	0,010	Коефіцієнт впливу передачі	0,011
Коефіцієнт впливу різниці кроків	47	Коефіцієнт впливу різниці кроків	47
Колова швидкість меродачі, м/с	3,366	Колова швидкість передачі, м/с	3,366
Питома колова динамічна сила, Н/мм	11,62	Питома колова динамічна сила, Н/мм	12,78
Коефіцієнт динамічного навантаження	1,095	Коефіцієнт динамічного навантаження	1,099
Питома розрахункова колова сила, Н/мм	134,486	Питома розрахункова колова сила, Н/мм	141,686
Діючі контактні напруги, МПа	650,481	Діючі згинні напруги, МПа	182,795
Допустимі контактні напруги, МПа	1000	Допустимі згинні напруги, МПа	370

Рисунок 3.15 – Результат перевірконого розрахунку зубчастих передач для коліс $z_1 = 26$ та $z_2 = 68$

Розрахунок третьої пари зубчастих коліс здійснено з врахуванням специфіки навантаження на конструктивного варіанту закріплення елементів на валах. На цьому етапі прийняті наступні вихідні дані: $z_1 = 30$ та $z_2 = 56$, $U = 0.536$, $m = 3$, $\psi_a = 0.20$. Отримані результати наведено на рис. 3.16 (основний розрахунок) та рис. 3.17 (перевірка міцності та жорсткості).

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ДОВІДКА ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД																																																																																																																																																																											
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ																																																																																																																																																																											
Ном. частота обертання шестерні (1/хв)	1538																																																																																																																																																																										
Макс. частота обертання колеса (1/хв)	824.7																																																																																																																																																																										
Потужність передачі (кВт)	7.5																																																																																																																																																																										
Кут нахилу зуба (градуси)	0																																																																																																																																																																										
Відношення ширини зубч. вінця до діаметру	0.20																																																																																																																																																																										
Передаточне відношення	0.536																																																																																																																																																																										
Ступінь точності передачі	7																																																																																																																																																																										
МАТЕРІАЛ																																																																																																																																																																											
Допустимі контактні напруги (МПа)	1000																																																																																																																																																																										
Допустимі напруги на згин (МПа)	370																																																																																																																																																																										
РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ																																																																																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>z1</th> <th>z2</th> <th>mk, мм</th> <th>mn, мм</th> <th>мст, мм</th> <th>aw, мм</th> <th>bw, мм</th> <th>vmax, м/с</th> <th>dw1, мм</th> <th>dw2, мм</th> <th>Ft, Н</th> <th>Fr, Н</th> <th>Fo, Н</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>19</td><td>35</td><td>4.212</td><td>3.185</td><td>4.5</td><td>121.50</td><td>17.10</td><td>3.69</td><td>85.5</td><td>157.5</td><td>1090</td><td>396</td><td>0</td></tr> <tr><td>20</td><td>37</td><td>4.002</td><td>3.064</td><td>4</td><td>114.00</td><td>16.00</td><td>3.45</td><td>80</td><td>148</td><td>1165</td><td>424</td><td>0</td></tr> <tr><td>21</td><td>39</td><td>3.811</td><td>2.954</td><td>4</td><td>120.00</td><td>16.80</td><td>3.63</td><td>84</td><td>156</td><td>1109</td><td>404</td><td>0</td></tr> <tr><td>22</td><td>41</td><td>3.638</td><td>2.854</td><td>3.5</td><td>110.25</td><td>15.40</td><td>3.32</td><td>77</td><td>143.5</td><td>1210</td><td>440</td><td>0</td></tr> <tr><td>23</td><td>43</td><td>3.480</td><td>2.763</td><td>3.5</td><td>115.50</td><td>16.10</td><td>3.47</td><td>80.5</td><td>150.5</td><td>1158</td><td>421</td><td>0</td></tr> <tr><td>24</td><td>44</td><td>3.335</td><td>2.678</td><td>3.5</td><td>119.00</td><td>16.80</td><td>3.63</td><td>84</td><td>154</td><td>1109</td><td>404</td><td>0</td></tr> <tr><td>25</td><td>46</td><td>3.201</td><td>2.600</td><td>3.5</td><td>124.25</td><td>17.50</td><td>3.78</td><td>87.5</td><td>161</td><td>1065</td><td>387</td><td>0</td></tr> <tr><td>26</td><td>48</td><td>3.078</td><td>2.528</td><td>3</td><td>111.00</td><td>15.60</td><td>3.37</td><td>78</td><td>144</td><td>1195</td><td>435</td><td>0</td></tr> <tr><td>27</td><td>50</td><td>2.964</td><td>2.461</td><td>3</td><td>115.50</td><td>16.20</td><td>3.50</td><td>81</td><td>150</td><td>1150</td><td>419</td><td>0</td></tr> <tr><td>28</td><td>52</td><td>2.858</td><td>2.398</td><td>3</td><td>120.00</td><td>16.80</td><td>3.63</td><td>84</td><td>156</td><td>1109</td><td>404</td><td>0</td></tr> <tr><td>29</td><td>54</td><td>2.760</td><td>2.339</td><td>3</td><td>124.50</td><td>17.40</td><td>3.75</td><td>87</td><td>162</td><td>1071</td><td>390</td><td>0</td></tr> <tr><td>30</td><td>56</td><td>2.668</td><td>2.284</td><td>3</td><td>129.00</td><td>18.00</td><td>3.88</td><td>90</td><td>168</td><td>1035</td><td>377</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	z1	z2	mk, мм	mn, мм	мст, мм	aw, мм	bw, мм	vmax, м/с	dw1, мм	dw2, мм	Ft, Н	Fr, Н	Fo, Н	19	35	4.212	3.185	4.5	121.50	17.10	3.69	85.5	157.5	1090	396	0	20	37	4.002	3.064	4	114.00	16.00	3.45	80	148	1165	424	0	21	39	3.811	2.954	4	120.00	16.80	3.63	84	156	1109	404	0	22	41	3.638	2.854	3.5	110.25	15.40	3.32	77	143.5	1210	440	0	23	43	3.480	2.763	3.5	115.50	16.10	3.47	80.5	150.5	1158	421	0	24	44	3.335	2.678	3.5	119.00	16.80	3.63	84	154	1109	404	0	25	46	3.201	2.600	3.5	124.25	17.50	3.78	87.5	161	1065	387	0	26	48	3.078	2.528	3	111.00	15.60	3.37	78	144	1195	435	0	27	50	2.964	2.461	3	115.50	16.20	3.50	81	150	1150	419	0	28	52	2.858	2.398	3	120.00	16.80	3.63	84	156	1109	404	0	29	54	2.760	2.339	3	124.50	17.40	3.75	87	162	1071	390	0	30	56	2.668	2.284	3	129.00	18.00	3.88	90	168	1035	377	0	СХЕМА ВСТАНОВЛЕННЯ Код встановлення 2 1- симетрична схема 2- асиметрична схема 3- консольна схема	Прийняті позначення в таблиці результатів розрахунків: Z1 - число зубів шестерні Z2 - число зубів колеса mk - розрахунковий модуль по контактних напругах mn - розрахунковий модуль по напругах на згин мст - стандартний модуль aw - міжосьова відстань bw - ширина зубчастого вінця vmax - колова швидкість на шестерні dw1 - дільний діаметр шестерні dw2 - дільний діаметр колеса Ft - тангенціальна сила в зачепленні Fr - радіальна сила в зачепленні Fo - осьова сила в зачепленні
z1	z2	mk, мм	mn, мм	мст, мм	aw, мм	bw, мм	vmax, м/с	dw1, мм	dw2, мм	Ft, Н	Fr, Н	Fo, Н																																																																																																																																																															
19	35	4.212	3.185	4.5	121.50	17.10	3.69	85.5	157.5	1090	396	0																																																																																																																																																															
20	37	4.002	3.064	4	114.00	16.00	3.45	80	148	1165	424	0																																																																																																																																																															
21	39	3.811	2.954	4	120.00	16.80	3.63	84	156	1109	404	0																																																																																																																																																															
22	41	3.638	2.854	3.5	110.25	15.40	3.32	77	143.5	1210	440	0																																																																																																																																																															
23	43	3.480	2.763	3.5	115.50	16.10	3.47	80.5	150.5	1158	421	0																																																																																																																																																															
24	44	3.335	2.678	3.5	119.00	16.80	3.63	84	154	1109	404	0																																																																																																																																																															
25	46	3.201	2.600	3.5	124.25	17.50	3.78	87.5	161	1065	387	0																																																																																																																																																															
26	48	3.078	2.528	3	111.00	15.60	3.37	78	144	1195	435	0																																																																																																																																																															
27	50	2.964	2.461	3	115.50	16.20	3.50	81	150	1150	419	0																																																																																																																																																															
28	52	2.858	2.398	3	120.00	16.80	3.63	84	156	1109	404	0																																																																																																																																																															
29	54	2.760	2.339	3	124.50	17.40	3.75	87	162	1071	390	0																																																																																																																																																															
30	56	2.668	2.284	3	129.00	18.00	3.88	90	168	1035	377	0																																																																																																																																																															

Рисунок 3.16 – Результат розрахунку пари зубчастих коліс $z_1 = 30$ та $z_2 = 56$

ФАЙЛ РОЗРАХУНОК ОФОРМЛЕННЯ ВИХІД	
Число зубів шестерні	30
Число зубів колеса	56
Модуль передачі, мм	3
Ширина зубчастого вінця, мм	18
Крутний момент, Нм	47
Частота вращения шестерни, об/мин	1538
Розрахунок на контактну витривалість	
Коефіцієнт торцевого перекриття	1.716
Коефіцієнт довжини контактних ліній	0.873
Коефіцієнт розподілення навантаження	1.065
Коефіцієнт впливу виду передачі	0.010
Коефіцієнт впливу різниці кроків	47
Колова швидкість меродавці, м/с	7.244
Питома колова динамічна сила, Н/мм	28.30
Коефіцієнт динамічного навантаження	1.458
Питома розрахункова колова сила, Н/мм	90.097
Діючі контактні напруги, МПа	521.700
Допустимі контактні напруги, МПа	700
Розрахунок на витривалість на згин	
Коефіцієнт форми зуба	3.800
Коефіцієнт перекриття зубів	1.000
Коефіцієнт розподілення навантаження	1.104
Коефіцієнт впливу передачі	0.011
Коефіцієнт впливу різниці кроків	47
Колова швидкість меродавці, м/с	7.244
Питома колова динамічна сила, Н/мм	31.13
Коефіцієнт динамічного навантаження	1.486
Питома розрахункова колова сила, Н/мм	95.183
Діючі згинні напруги, МПа	120.563
Допустимі згинні напруги, МПа	250

Рисунок 3.17 – Перевірочного розрахунок для при коліс $z_1 = 30$ та $z_2 = 56$

На основі проведених автоматизованих розрахунків розробляємо конструкцію коробки швидкостей, вона приведена в графічній частині роботи.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Навчання з питань охорони праці на машинобудівному виробництві

Якісне навчання з питань охорони праці – одна із складових організації безпечних умов праці на робочих місцях, особливо при виконанні робіт та експлуатації машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. А безпека на робочих місцях – це запорука збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Одним із ключових напрямів підвищення рівня охорони праці у виробничій сфері є систематичне навчання персоналу безпечним методам виконання робіт та формування компетентності управлінського складу щодо прийняття обґрунтованих рішень, спрямованих на поліпшення умов праці та мінімізацію виробничих ризиків.

Високоякісна підготовка з питань безпеки праці — це не лише основа безаварійного функціонування підприємства, зокрема у галузі машинобудування, а й дієвий механізм збереження життя та здоров'я працівників. Такий підхід формує надійне підґрунтя для вдосконалення системи управління охороною праці та реалізації ефективної профілактичної стратегії запобігання травматизму і професійним захворюванням [31].

Організація навчання та перевірки знань з питань охорони праці є обов'язковим елементом функціонування системи управління безпекою на підприємстві та здійснюється відповідно до Типового положення, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15, НПАОП 0.00-4.12-05 (зі змінами згідно з наказом Мінсоцполітики № 140 від 30.01.2017) [32].

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		
Разроб.		Ільницький В.І.					
Перевір.		Окіпний І.Б.					
Реценз.							
Н. Кантр.		Кабельник В. Р.					
Затверд.		Крцпа В.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						56	6

Відповідно до вимог цього нормативного акту, уся категорія працюючих, включаючи посадових осіб, спеціалістів та робітників, має проходити відповідну підготовку та перевірку знань з питань охорони праці у процесі трудової діяльності.

При прийомі на роботу, а також у період подальшої виробничої діяльності, працівники зобов'язані проходити інструктажі, навчання та іспити з охорони праці. Ці заходи включають вивчення правил надання домедичної допомоги, дій у разі надзвичайних ситуацій та ознайомлення з потенційними ризиками, характерними для конкретних виробничих процесів.

Крім того, роботодавець зобов'язаний організовувати навчальний процес із врахуванням технологічних особливостей діяльності підприємства та вимог локальних нормативних актів, що діють у його межах.

Безпосередньо перед перевіркою знань працівникам забезпечується проведення циклу навчальних заходів — лекцій, семінарів, індивідуальних і групових консультацій, спрямованих на осмислення обов'язків, засобів індивідуального захисту та процедур реагування.

Таким чином, нормативно регламентована система навчання з охорони праці не лише виконує функцію контролю знань, але й формує основу для сталого розвитку безпечного виробничого середовища, що має ключове значення у галузях з підвищеним рівнем техногенних ризиків, зокрема в машинобудуванні.

Ефективність навчання з питань охорони праці значною мірою залежить від обраної форми подачі матеріалу. Згідно з даними педагогічної практики, під час лекційного викладу засвоюється лише близько 5% інформації, при читанні — до 10%, демонстрація забезпечує запам'ятовування приблизно 30%, тоді як активна участь у дискусії дозволяє засвоїти до 50% матеріалу. Це свідчить про те, що інтерактивні методи навчання у 10 разів ефективніші за пасивне слухання лекцій [32].

Така статистика цілком логічна: якщо викладач обмежується монотонним читанням тексту, слухачі швидко втрачають увагу — хтось відволікається на сторонні думки, інші — на предмети навколо. Натомість залучення працівників

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

до обговорення, постановки запитань і вирішення реальних виробничих ситуацій значно підвищує рівень зацікавленості та мотивації.

Особливо важливо, щоб викладач або тренер демонстрував щирі зацікавленість у проблемах, які дійсно хвилюють працівників на їхніх робочих місцях. Саме такий підхід — із живим зворотним зв'язком, прикладами з практики та відкритим діалогом — формує усвідомлене ставлення до безпеки праці та сприяє глибшому засвоєнню знань.

4.2 Основні джерела забруднення, які створює багатоцільовий верстат

При роботі металорізальних верстатів виникають певні види забруднення, які мають вплив на навколишнє середовище, а саме:

- викиди у повітряне середовище;
- забруднення стічних вод;
- тверді промислові відходи;
- акустичне забруднення та вібрації.

Під час роботи металорізальних верстатів, особливо при використанні мастильно-охолоджуючих рідин (емульсій, індустріальних олив, сульфозфрезолу), в навколишнє середовище потрапляють аерозольні домішки, зокрема тумани технічних рідин. При обробленні поверхонь абразивним інструментом без охолодження (шліфування, полірування) додатково утворюється абразивний мікропил, що ускладнює забезпечення належних умов повітрообміну та потребує ефективного локального відсмоктування [33].

У процесі експлуатації верстатів та допоміжного обладнання утворюються стоки, забруднені мінеральними мастилами та нафтопродуктами, що виникають унаслідок термообробки, знежирення, механічного різання або витоку змащувальних систем. Оливи, що присутні у стічних водах, частково утворюють плівку на поверхні, а частково переходять у стійку емульсійну фазу, яка суттєво ускладнює процеси фільтрації та очищення.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Кількість оливи в стічних потоках варіює від декількох мг до сотень г/л, залежно від технічного стану верстатів, щільності магістралей та дотримання виробничої дисципліни. Основна маса зважених речовин осаджується у відстійниках або вловлювачах нафтопродуктів, однак емульговані залишки, стабілізовані вмістом емульгаторів, потребують застосування спеціалізованих методів очищення.

Також в процесах різання, шліфування, фрезерування й обточування утворюються стружка, частки зношених інструментів і дрібнодисперсний пил, який затримується системами пиловловлення. Хоча номенклатура таких відходів обмежена, їх кількість істотно залежить від особливостей використовуваних технологій, масштабів виробництва та конструкційної складності виробів.

Металеві залишки (у вигляді стружки) переважно утилізуються, тоді як значна частина шламів, технічного пилу, а також матеріалів змішаного складу наразі не підлягає переробці і спрямовується на спалювання або полігонне захоронення.

Металообробні верстати є джерелом інтенсивного техногенного шуму й механічних вібрацій, які супроводжують більшість виробничих процесів. Звуковий тиск у зоні роботи механізмів досягає 80–100 дБ, а в деяких випадках навіть понад 105 дБ, особливо на ділянках заточування, де рівень шуму стабільно тримається в межах 85–90 дБ.

Генерація шуму пов'язана переважно з елементами приводів — електродвигунами, зубчастими та пасовими передачами, підшипниками, а також безпосередньо з процесом різання, особливо за умови зношення деталей чи розбалансованості вузлів. Вібрації передаються через конструкцію верстата та впливають на стабільність процесу, ергономіку робочого місця і рівень травматизму.

4.3 Розрахунок евакуаційних шляхів із виробничих приміщень дільниці

Евакуаційний шлях — це безпечний маршрут, що забезпечує швидке переміщення персоналу з приміщень до виходу назовні у випадку загрози (пожежі, вибуху тощо). Його конструкція та організація повинні відповідати вимогам Правил пожежної безпеки України та будівельних норм.

До основних вимог що до евакуаційного шляху відносять:

- безперешкодний прохід: шляхи не повинні бути захащені або заставлені матеріалами;
- кількість та ширина виходів регламентується кількістю осіб, що можуть одночасно перебувати в приміщенні (не більше 50 при одному еваковиході);
- відкривання дверей — за напрямком евакуації; двері мають легко відкриватися зсередини;
- наявність аварійного освітлення, що автоматично вмикається при зникненні основного живлення.

У конструктивному виконанні сходові марші повинні мати надійні огороження, а всі проходи — відповідати мінімальній нормативній ширині. Допускається розміщення обладнання (опалення, електрощити, пожежні крани) лише за умови збереження прохідності.

Основна інформація щодо розрахунку евакуаційних шляхів, про їх проєктну довжина, а також відомості щодо їх розрахунку містяться в ДБН В.1.1-7, вони залежать від наступних факторів [34]:

- категорії приміщення за пожежною небезпекою;
- групи рухомості (наприклад, для машинобудівних цехів — категорія П-Па або П-Пб);
- кількості працівників на дільниці;
- розрахункової швидкості руху потоку евакуйованих (переважно приймають 1.0–1.2 м/с).

Максимальна довжина шляху евакуації для виробничих приміщень без пожежної сигналізації зазвичай не перевищує 25–50 м, залежно від категорії. Якщо передбачено два виходи, допустима довжина збільшується. Розрахунок

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

враховує геометрію цеху, розміщення обладнання, схему комунікацій та пожежонебезпечні зони.

В місцях евакуаційних проходів забороняється: використовувати горючі матеріали; монтувати незнімні замки або обертові механізми; зменшувати нормативну ширину проходів; застосовувати слизьке покриття; фіксувати протипожежні двері у відкритому положенні.

Розглянемо приклад розрахунку евакуаційного шляху для ділянки машинобудівного підприємства. Вихідними даними для розрахунку є:

- категорія приміщення: П-Па (машинобудування);
- кількість працівників: 30 осіб;
- ширина евакуаційного проходу: 1.2 м;
- довжина евакуаційного маршруту: 25 м;
- швидкість руху потоку: 1.0 м/с;
- щільність потоку: 1.5 особи/м².

Розрахунок передбачає визначення площі проходу, його пропускної здатності та часу евакуації через нього.

Площа проходу визначається:

$$S = \text{ширина} \times \text{довжина} \quad (4.1)$$

Пропускна здатність визначається:

$$N_{\max} = \text{площа} \times \text{щільність} \quad (4.2)$$

Час евакуації визначають:

$$t = \text{довжина} / \text{швидкість} \quad (4.3)$$

Після підстановки отримаємо:

$$S = 1.2 \text{ м} \times 25 \text{ м} = 30 \text{ м}^2$$

$$N_{\max} = 30 \times 1.5 = 45 \text{ осіб}$$

$$t = 25 / 1.0 = 25 \text{ секунд}$$

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ВИСНОВКИ

Перший розділ кваліфікаційної роботи бакалавра стосується аналізу вихідних даних на проектування. В якості завдання на виконання кваліфікаційної роботи ми отримали креслення деталі «Клемна коробка», технологічний процес її виготовлення та перелік обладнання, яке при цьому використовувалось.

Проведений аналіз показав, що деталь «Клемна коробка» є відповідальним вузлом, що може використовуватись в системах енергопостачання промислових об'єктів. Деталь виготовляється з алюмінієвого сплаву AlSi9Mg, який має добрі ливарні властивості, високу корозостійкість та добру оброблюваність.

Аналіз базового технологічного процесу показав, що йому притаманна низька концентрація операцій та часта зміна обладнання, що в кінцевому підсумку може викликати похибку налагодження. Ці недоліки вказують на доцільність розробки нового, раціонального ТП, який дозволить їх усунути.

Деталь «Клемна коробка» має складну форму, її обробка вимагає широкого спектру формоутворюючих рухів, оскільки передбачає обробку отворів, пазів, площин, кишень. Для цього необхідно використовувати відповідний інструмент. Аналіз типових схем ФУР показав, що при обробці даної деталі потрібно забезпечити поєднання обертальних та поступальних рухів, в різних комбінаціях. Для реалізації приведених схем обробки доцільно застосувати багатоцільові верстати.

Проведений в роботі огляд літератури дозволяє підтвердити, що використання сучасних багатоцільових верстатів та оброблювальних центрів дозволяє істотно підвищити якість обробки корпусних деталей.

В технологічній частині кваліфікаційної роботи розроблено раціональний ТП обробки деталі «Клемна коробка», який передбачає застосування багатоцільового верстату. Він дозволяє об'єднати всі основні технологічні переходи в межах однієї установки деталі.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ		
Розроб.		Ільницький В.І.					
Перевір.		Склярів Р.А.					
Реценз.							
Н. Кантр.		Кабельник В. Р.					
Затверд.		Крипа В.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м. Тернопіль		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						62	3

Застосування поворотного столу компанії Index Designs дозволяє забезпечити обробку деталі «Клемна коробка» без необхідності повторного базування. Верстат оснащений інструментальним магазином на 30 позицій, що дозволяє реалізувати комплексну обробку вказаної деталі.

Для забезпечення обробки деталі «Клемна коробка» ми провели добір сучасного інструментального забезпечення, при цьому ми надали перевагу продукції провідних європейських виробників, а саме компаній TAEGUTEC та WURTH. До складу обраного інструментального оснащення увійшли торцеві та кінцеві фрези, центрувальні, подовжені та звичайні свердла, а також мітчики.

Проведено аналітичний розрахунок режимів різання для технологічного переходу, який передбачає чорнове фрезерування площини торцевою фрезою. Проведені розрахунки підтвердили правильність вибору інструменту та обладнання на якому буде проводитись обробка. Для решти технологічних переходів ми використовували інтерактивний онлайн-калькулятор від компанії Walter.

В конструкторській частині кваліфікаційної роботи нами було синтезовано структурно-кінематичну схему багатоцільового верстату, до складу якої увійшли шість кінематичних ланцюгів (головного та допоміжних рухів). Ці кінематичні ланцюги забезпечують переміщення основних виконавчих вузлів верстату (забезпечують обертання шпинделя, його переміщення в повздовжньому напрямку, переміщення столу, інструментального магазину).

В роботі проведено обґрунтування технічних параметрів верстату, зокрема допустимих діаметрів інструментів, глибини різання, подач (розрахунки проведені для випадків обробки сталей, чавунних та заготовок з кольорових металів і сплавів).

Проведено кінематичний розрахунок верстату, розраховано ефективну потужність різання для найбільш навантажених випадків обробки деталей. Проведені розрахунки стали основою для конструктивної розробки приводу.

Для проектного верстату прийняту схему комбінованого регулювання обертів, яка поєднує безступеневе електричне керування та двоступеневу механічну коробку передач.

					<i>КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Спроековано структурну сітку частот обертання з $\varphi = 1.26$, вона забезпечує рівномірний перехід між обертами, дозволяючи реалізувати 22 швидкісні ступені без провалів або надмірного перекриття.

Запропоновано кінематичну схему приводу головного руху, яка дозволяє реалізувати два режими роботи, а саме пряма передача та занижена.

Виходячи із розрахункового значення ефективної потужності різання обрано двигун для приводу головного руху, номінальна потужність якого становить 7.5 кВт.

Проведено розрахунок крутних моментів та кутових швидкостей на всіх основних валах спроектованої коробки. Для найбільш навантаженої передачі розраховано міжосьову відстань та розраховано модуль зачеплення. З метою уніфікації та підвищення надійності прийнято його стандартне значення, яке становить $m = 3$.

Проведені автоматизовані розрахунки підтвердили правильність попередньо обраної геометрії коліс та матеріалів для них.

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи знайшли відображення питання, що стосуються безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Зокрема висвітлені питання, що стосуються навчання з питань охорони праці на підприємствах та в установах.

Розглянуті основні шкідливі фактори, які можуть спричиняти багатоцільові верстати на підприємствах машинобудівного профілю. Зокрема це аерозольні та пилові викиди, забруднення стічних вод мастильно-охолоджуючими рідинами, шум і вібрації.

Проведено розрахунок евакуаційного маршруту для ділянки механічного цеху, який підтвердив його відповідність чинним будівельним та пожежним нормам.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Склярів Р.А., Четвержук Т. І., Полінкевич Р.М., Редько Р. Г., Системний підхід як основа автоматизації проектування та модернізації токарного верстатного обладнання // Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали V міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2021 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. – 2021. – 436с, - С. 157-159
2. Четвержук Т. І., Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів / Четвержук Т. І., Полінкевич Р. М., Редько Р. Г., Залета О. М., Склярів Р. А. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк : - 2021. Випуск №71, С. 322-329.
3. Кузнецов Ю. М., Склярів Р. А., Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Склярів; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.
4. Склярів Р. А., Шанайда В. В. Використання багатофункціонального пакету Mathcad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. *Збірник тез XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (5 – 6 грудня 2012 р.)*. У 2Т. – Тернопіль : ТНТУ, 2012 – Т.2 Матеріалознавство та машинобудування. – 143 с., - С. 69.
5. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.
6. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
7. Склярів Р. А., Гагалюк А. В. Використання методу нейронних мереж для прогнозування металорізальних верстатів. *Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року*. — Тернопіль : ТНТУ, 2019. 212 с. (Машинознавство та машинобудування). С. 34

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Ільницький В.І.			ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Склярів Р.А.							65	5
Реценз.								ТНТУ ім. І. Пулюя зр. МВ-41, м.Тернопіль		
Н. Контр.		Кодельник В. Р.								
Затверд.		Крупа В.В.								

8. Скляр Р. А., Шанайда В. В. Прогнозування технічних характеристик металорізальних верстатів з використанням нейронних мереж *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції 28 – 31 травня 2025 року* / за заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ-Тернопіль-Свалява: ДДМА, 2025. 264 с., С. 252.

9. 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. Скляр, 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.

10. Складання класифікаційних характеристик виробів за класифікатором ЄСКД [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ., які навчаються за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 142 «Енергетичне машинобудування», спеціалізацією «Тепло- і парогенеруючі установки»; спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізаціями «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів», «Комп'ютерно-інтегровані технології приладів точної механіки», / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. М. Надкернична, О. О. Лебедева. —Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. — 116 с.

11. ENAC- AlSi9Mg (ENAC-43300). *European Steel and Alloy Grades. Alloy Standards*. URL: https://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1230 (дата звернення: 27.03.2025).

12. Основи формоутворення поверхонь різанням : навч. посіб. / С. В. Швець. — Суми : Сумський державний університет, 2011. 127 с.

13. Інтенсифікація процесів механічної обробки : монографія / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, О. В. Котляр та ін.; за ред. В. Є. Карпуся. — Суми : Сумський державний університет, 2012. — 436 с.

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

14. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. — Вінниця : ВНТУ, 2023. — 116 с.

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

16. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.

17. 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.

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

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

20. 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>.

21. Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з поділом припуску та подачі. *Вісник ТДТУ*. 2011. Т. 16, № 1. С. 105–117. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/959>.

22. *ПромСтарт. Обробний центр із ЧПУ-IP500ПМФ4*. URL: <https://promstart.com.ua/ua/p83502075-obrabatyvayuschij-tsentr-chpu.html>. (дата звернення: 08.06.2025).

23. *Index Designs. TR-6 - 6.25 inch (160 mm) Face Plate 4th & 5th Axis Positional Indexer*. URL: <https://www.indexdesignscnc.com/tr6> (дата звернення: 08.06.2025).

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

24. *Taegutec. Каталог (Ріжучий інструмент). Фрезерний інструмент.* URL: https://www.taegutec.com/pages/wp-content/uploads/kboard_attached/11/202406/666a5c90c42153877219.pdf (дата звернення: 08.06.2025).

25. *Würth: Абразивний та ріжучий інструмент.* URL: <https://wurth.ua/image/catalog/pdf/Cut4.pdf?srsltid=AfmBOorsO-zfn3Ss-yyzFJVxsXKFAZs28hcE06lysPeV6L1WB1Jepk0g9#page=25.12> (дата звернення: 08.06.2025).

26. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник /Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

27. *Walter. Калькулятор режимів різання.* URL: <https://mac.walter-tools.com/> (дата звернення: 10.06.2025).

28. Аргат Р. Методичні вказівки щодо виконання практичних і контрольних робіт з навчальної дисципліни «Металообробне обладнання» для студентів денної та заочної форми навчання зі спеціальності 131 – «Прикладна механіка» ОПП програми «Прикладна механіка» освітнього ступеня «Бакалавр». Кременчуг : КНУ ім. М. Остроградського, 2024. 46 с. URL: https://document.kdu.edu.ua/metod/2024_9131.pdf#page=41.07 (дата звернення: 12.06.2025).

29. Дубиняк С. А., Нагорняк С. Г., Дубецький І. Д. Основи кінематичного розрахунку металорізальних верстатів. Методичні рекомендації по курсовому та дипломному проектуванні МРВ для студентів спеціальності 0501 – Тернопіль. – 1980. – 85 с.

30. Бочков В. М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів / В. М. Бочков, Р. І. Сілін, О. В. Гаврильченко. – Львів, 2008. – 448 с.

31. Безпека праці – запорука розвитку машинобудівного виробництва [Електронний ресурс] / І. О. Мезенцева [та ін.] // Prospects of modern science and education : proc. of the 5th Intern. sci. and practical conf., February 07-10, 2023 / ed.: E. Pluzhnik [et al.]. – Electronic text data. – Stockholm, 2023. – P. 626-629. – URI:

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/62452>. (дата звернення: 17.06.2025).

32. Навчання з питань охорони праці: види та організація. *Кадроланд*. 12.06.2025. URL: <https://kadroland.com/news/1321-navcannya-z-pitan-oxoroni-praci-vidi-ta-organizaciya> (дата звернення: 17.06.2025).

33. Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С. Основи загальної екології. — К.: Либідь. 1995 — 368 с.

34. ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги". Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги". URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3080743763845318619 (дата звернення: 18.06.2025).

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ДОДАТКИ

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДОДАТКИ				
Розроб.		Ільницький В.І.							
Перевір.		Склярів Р.А.							
Реценз.									
Н. Контр.		Кодельник В. Р.							
Затверд.		Крцпа В.В.			ТНТУ ім. І. Пулюя гр. МВ-41, м.Тернопіль				
					Літ.	Арк.	Аркушів		
							69	8	

Технічні характеристики та загальний вигляд шестишпиндельного токарного автомату 1A240-6

Найменування параметра	1A240-6
Основні параметри	
Клас точності згідно з ГОСТ 8-82	H
Кількість робочих шпинделів	6
Діаметр отвору в шпинделях, мм	62,6
Найбільша довжина обробки, мм	160
Найбільша довжина подачі дроту, мм	180
Найбільший діаметр прутка, мм	40
Найбільша сторона квадратного дроту, мм	28
Найбільша сторона шестигранного дроту, мм	35
Найбільший діаметр різблення, що нарізається мітчиками по сталі, мм	30
Найбільший діаметр різблення, що нарізається мітчиками по латуні, мм	36
Найбільша довжина дроту, мм	
Найбільша маса оброблюваної деталі, кг	24
Інструментальні супорти	
Кількість поздовжніх супортів	1
Кількість поперечних супортів	6
Найбільший загальний/ робочий хід поздовжнього супорта, мм	180/160
Найбільший загальний/ робочий хід поперечного супорта I, II, III, мм	70/ 40
Найбільший загальний/ робочий хід поперечного супорта IV, V, мм	95/ 65
Найбільший загальний/ робочий хід відрізного супорта VI, мм	50/30
Частота обертання шпинделів, об/хв	142..1600
Величина подач поздовжнього супорта, мм/про	0..6,67
Величина подач поперечних супортів, мм/про	0..2,63
Електроустаткування	
Кількість електродвигунів на верстаті	
Електродвигун головного приводу (шпинделів), кВт	13
Електродвигун налагоджувального обертання, кВт	1,5
Електродвигун приводу транспортера стружки, кВт	1,1
Електродвигун насоса мастила, кВт	2,2
Електродвигун насоса охолодження, кВт	0,6
Встановлена потужність, кВт	24,9
Габарити та маса верстата	
Габарити верстата без приставного обладнання (довжина ширина висота), мм	6050 x 1600 x 1945
Маса верстата, кг	9000

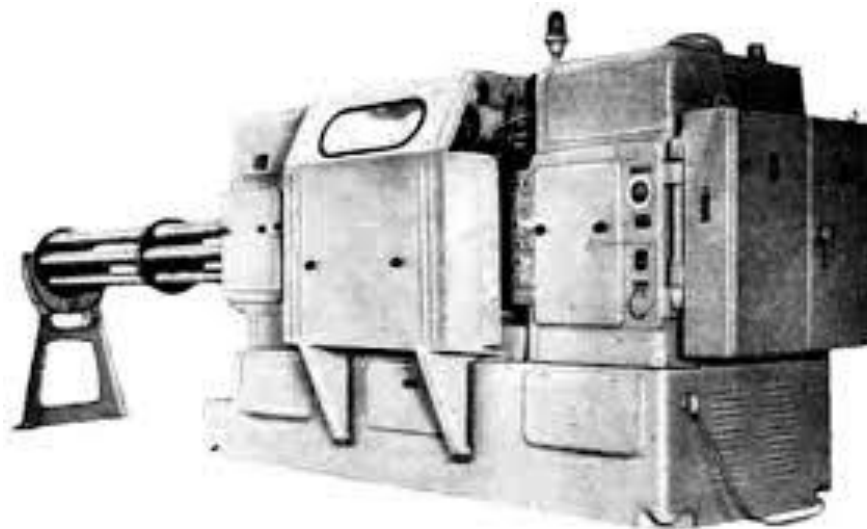


Рисунок А.1 – Загальний вигляд верстату 1А240-6

					КРБ 21-056.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71