

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему Конструювання коробки швидкостей вертикально-свердлильного
верстата з розробленням технологічного процесу виготовлення
деталі "Корпус редуктора ОПВ-2000"

Виконав: студент 4 курсу, групи МВ-41

напряму підготовки (спеціальності) 133 –

Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Студент Ластовецький М.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Шанайда В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Кобельник В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Крупа В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Володимир КРУПА
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ластовецькому Миколі Леонідовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата з розробленням технологічного процесу виготовлення деталі "Корпус редуктора ОПВ-2000"

Керівник роботи Шанайда Володимир Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» січня 2026 року № 4/9-45.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі; базовий технологічний процес виготовлення деталі; паспорти свердлильних верстатів; складальні креслення основних вузлів верстатів.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Аналітична частина. Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі.
Аналіз базового технологічного процесу механічної обробки деталі.
Провести аналіз схем налагодження. Обґрунтування раціонального маршруту оброблення деталі. Розрахунок режимів оброблення. Конструкторська частина: Кінематичний розрахунок верстата; конструювання коробки швидкостей. Розробити заходи БЖД та основ охорони праці.

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

Карта технологічного процесу – 2 арк. ф. А1;
Карти наладки та розмірний аналіз – 1 арк. ф. А1;
Кінематична схема верстата – 1 арк. ф. А1;
Конструкція коробки швидкостей верстата – 1 арк. ф. А1.

АНОТАЦІЯ

Конструювання коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата з розробленням технологічного процесу виготовлення деталі "Корпус редуктора ОПВ-2000": робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 133 – галузеве машинобудування/ кер. В.В. Шанайда. Тернопіль: факультет інженерії машин, споруд та технологій; кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин, група МВ-41: ТНТУ, 2026.

Об'єктом вивчення є технологічний процес механічної обробки деталей типу "Корпус..." в умовах дрібносерійного виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення конструкції коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата з розробкою технологічного процесу механічної обробки деталі "Корпус ОПВ-2000", в якому передбачено застосування цього верстата для забезпечення ефективності виробництва.

Design of the speed gearbox of a vertical drilling machine with development of the manufacturing process for the part "Gearbox housing OPV-2000": work for the qualification degree of a bachelor: speciality 133 – branch mechanical engineering/ supervisor V.V. Shanaida. Ternopil: Faculty of Mechanical Engineering, Structures and Technologies; Department of Design of Machine Tools, Tools and Machines, Group MV-41: TNTU, 2026.

The object of study is the technological process of mechanical processing of parts of the "Housing..." type in conditions of small-scale production.

The purpose of the qualification work is to develop a design of a gearbox for a vertical drilling machine with the development of a technological process for mechanical processing of the part "Housing of a gear reducer OPV-2000", which provides for the use of this machine to ensure production efficiency.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	АНОТАЦІЯ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Ластовецький</i>						4	1
<i>Перевірив</i>	<i>Шанайда</i>							
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>				ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41			

З М І С Т

стор.

	Вступ	7
1.	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1	Призначення та технічна характеристика об'єкта виробництва	11
1.2	Аналіз діючого технологічного процесу	12
1.3	Сучасні тенденції у технології, обладнанні та оснащенні для обробки корпусних деталей. Порівняльна оцінка	15
1.4	Аналіз формоутворення для оброблюваних поверхонь	16
1.5	Висновки та завдання на кваліфікаційну роботу	23
2.	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24
2.1	Відпрацювання деталі на технологічність	24
2.2	Аналіз методів обробки поверхонь	30
2.3	Детальна розробка оптимального варіанту технологічного процесу	33
2.3.1	Визначення допусків, припусків і операційних розмірів	34
2.3.2	Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення	38
3	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	44
3.1	Вибір та обґрунтування структурно–кінематичної схеми верстата	44
3.2	Розрахунок приводу головного руху	47
3.2.1	Розрахунок ефективної потужності	47
3.2.2	Кінематичний розрахунок	51
3.2.3	Розробка конструкції коробки швидкостей та її розрахунок	56
3.2.3.1	Визначення значень крутних моментів на валах кінематичного ланцюга приводу головного руху	56

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Ластовецький</i>				Зміст	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>	<i>Шанайда</i>						5	2
<i>Рецензент</i>						ТНТУ, ФМТ		
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник</i>					каф. ВІ, гр. МВ-41		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа</i>							

3.2.3.2	Розрахунок модуля передач та параметрів зубчастих коліс	59
3.3	Проектування приводу подач верстата	60
3.3.1	Обґрунтування конструкції приводу подач	60
3.3.2	Розрахунок приводу подач на міцність	67
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	70
4.1	Психологічні причини нещасних випадків і травматизму	70
4.2	Заходи з техніки безпеки при виготовленні корпусних деталей	73
	Висновки	78
	Перелік посилань	79
	Додатки	82

ВСТУП

Сучасне машинобудування є фундаментальною основою промислового розвитку будь-якої економічно розвиненої держави. Рівень технічної досконалості, надійності та довговічності машин і механізмів безпосередньо визначається якістю виготовлення їхніх складових частин [1]. Серед усього різноманіття номенклатури машинобудівної продукції особливе місце посідають корпусні деталі, які виконують роль несучої основи, забезпечують просторове розташування валів, підшипників, зубчастих коліс та інших відповідальних вузлів [2, 3]. Від геометричної точності, якості поверхонь і фізико-механічних властивостей корпусних деталей залежить ресурс роботи машини в цілому, рівень вібрацій, шуму та загальна експлуатаційна безпека.

Механічна обробка корпусних деталей є однією з найбільш трудомістких і технологічно складних операцій у загальному циклі виробництва. Складність цього процесу зумовлена необхідністю забезпечення високої точності розташування специфічних конструктивних елементів, різьбових з'єднань (зокрема, допуски форми та розташування нерідко знаходяться в межах сотих і тисячних часток міліметра), а також досягнення заданих параметрів шорсткості поверхонь [4]. Вирішальну роль у досягненні цих вимог відіграє парк металорізального обладнання, а саме верстати, які безпосередньо реалізують процес формоутворення деталі.

Металорізальні верстати є головною ланкою системи ВПД [5]. Історично розвиток машинобудування супроводжувався еволюцією верстатного парку: від універсальних верстатів з ручним керуванням до високоавтоматизованих обробних центрів із числовим програмним керуванням (ЧПК) та багатоосьовою обробкою. Універсальне обладнання, незважаючи на свою гнучкість і відносно невисоку вартість, має низку принципів обмежень: значна частка допоміжного часу, необхідність багаторазових перевстановлень заготовки, жорсткі вимоги до

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Ластовецький				ВСТУП	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Шанайда						7	4
Реценз.						ТНТУ, ФМТ,		
Н. Контр.	Кобельник					каф. ВІ, гр. МВ-41		
Зав. каф.	Крупа							

кваліфікації робітника та складність забезпечення стабільної точності при серійному виробництві [6].

На противагу цьому, сучасні багатоопераційні верстати з ЧПК (обробні центри) дозволяють виконати фрезерування, свердління, розточування, зенкерування, розгортання та нарізання різьби за одну установку деталі, мінімізуючи похибки, пов'язані з перебазуванням [3, 7, 8]. Застосування таких верстатів особливо виправдане при виготовленні корпусних деталей типу «Корпус ОПВ-2000», що характеризуються наявністю точно розташованих базових площин, отворів різного діаметра (зокрема, Ø72H7 та Ø80H7 під підшипникові вузли), розгалуженої системи різьбових отворів (M8, M12, M16) та підвищеними вимогами до шорсткості (Ra 2,5 мкм для відповідальних поверхонь). В умовах дрібносерійного виробництва (до 1000 шт./рік) використання верстатів з ЧПК дозволяє скоротити час технологічної підготовки виробництва, зменшити кількість спеціальних пристроїв і забезпечити гнучкість при можливій модернізації конструкції виробу.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності механічної обробки корпусних деталей сільськогосподарського призначення шляхом оптимізації структури технологічного процесу та застосування сучасного металорізального обладнання. Сільське господарство України потребує надійної, ремонтпридатної та недорогої техніки для захисту рослин і внесення добрив, одним із ключових представників якої є обприскувач вентиляторний ОПВ-2000. Удосконалення технології виготовлення його корпусної деталі дозволить зменшити собівартість виробу, підвищити продуктивність процесу механічної обробки та забезпечити її якість.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення конструкції коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата з розробкою технологічного процесу механічної обробки деталі "Корпус ОПВ-2000", в якому передбачено застосування цього верстата для забезпечення ефективності виробництва.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поставлену мету можна досягти через вирішення наступних завдань:

1. Виконати аналіз призначення та технічних вимог до деталі, оцінити її технологічність.
2. Виконати критичний аналіз базового технологічного процесу, з'ясувати його недоліки з точки зору використання універсального обладнання.
3. Розробити нову структуру технологічного процесу, передбачивши заміну універсальних верстатів на багатоопераційне обладнання з ЧПК, що дозволить виконувати обробку за мінімальну кількість установок.
4. Розрахувати режими різання, норми часу та визначити основні техніко-економічні показники запропонованого технологічного процесу.
5. Розробити конструкцію виконавчого органу верстатного обладнання для забезпечення ефективності процесу механічної обробки.
6. Запропонувати заходи з основ охорони праці та БЖД при роботі на верстатному обладнанні.

Об'єктом вивчення є технологічний процес механічної обробки деталей типу "Корпус..." в умовах дрібносерійного виробництва.

Предметом аналізу виступають закономірності впливу типу металорізального верстата (універсальний vs багатоопераційний з ЧПК) на точність, продуктивність та собівартість обробки корпусної деталі.

У роботі реалізовано комплексний підхід щодо вивчення проблематики, виконання технологічного та конструктивного аналізу: аналіз наукової та технічної літератури, нормативної документації, технологічні розрахунки (режимів різання, точності обробки), конструктивні розрахунки та інженерний аналіз технологічних можливостей запропонованого верстатного устаткування.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практична значимість роботи полягає у формуванні чітких інженерних рішень, які можуть бути впроваджені в умовах діючого машинобудівного підприємства для підвищення ефективності виготовлення корпусу ОПВ-2000, зменшення трудомісткості та покращення якості обробки відповідальних поверхонь.

Структура кваліфікаційної роботи включає вступ, аналітичну, технологічну, конструкторську частину, розділ з охорони праці та БЖД, висновки, перелік використаних джерел та графічну частину.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Призначення та технічна характеристика об'єкта виробництва

Деталь „Корпус ОПВ-2000” входить у конструкцію вентиляційного обприскувача ОПВ–2000. Він служить для відбору потужності від роздатної коробки трактора до робочого колеса насосу. Матеріал корпусу – сірий чавун СЧ-20 (ДСТУ 8833:2019).

Основні технічні параметри обприскувача вентиляційного ОПВ–2000:

- продуктивність: 9,0–11,2 га/год;
- ширина захвату: 18 м;
- місткість бака: $2 \pm 0,05$ м³;
- витрата робочої рідини: 100 л/га (для пестицидів –75–300 л/га, гербіцидів – 150–300 л/га, рідких добрив – 150–800 л/га);
- робочий тиск у нагнітальній системі: 0,1–0,4 МПа;
- транспортна швидкість трактора: 12–16 км/год;
- маса конструкції: 1650 кг.

Службове призначення деталі визначається наступними конструктивними та технологічними вимогами:

1. Площина з розміром $h = 16h14$, шорсткістю Ra 20, використовується для кріплення вузла до рами обприскувача.
2. Площина з розміром $h = 235h14$, шорсткістю Ra 5, призначена для встановлення кришки.
3. Чотири отвори діаметром 17H9 (два з яких мають діаметр 117H14) із шорсткістю Ra 5 та Ra 20; два з них виконують роль установочних баз на всіх операціях механічного оброблення.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ластовецький			АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Шанайда					11	13
Реценз.						ТНТУ, ФМТ,		
Н. Контр.		Кобельник				каф. ВІ, гр. МВ-41		
Зав. каф.		Крупа						

3. Чотири отвори діаметром 17H9 (два з яких мають діаметр 17H14) із шорсткістю Ra 5 та Ra 20; два з них виконують роль установочних баз на всіх операціях механічного оброблення.
4. Дві площини з розміром $h = 110h_{12}$, шорсткістю Ra 5, слугують для фіксації кришок.
5. Отвори $\varnothing 72H7$ та $\varnothing 80H7$, шорсткістю Ra 2,5, призначені для монтажу підшипникових вузлів.
6. Різьбові отвори M8–6H та M12–7H (шорсткість Ra 5) забезпечують кріплення торцевих кришок редуктора.
7. Різьбові отвори M8–6H (шорсткість Ra 5) призначені для кріплення кришок.
8. Різьбовий отвір M16–6H (шорсткість Ra 5) використовується для встановлення зливної пробки.

1.2. Аналіз діючого технологічного процесу

Виготовлення деталі «Корпус ОПВ-2000» здійснюють у цеху механічної обробки насосів. Річний обсяг випуску складає 1000 одиниць. Обробка ведеться на універсальному металорізальному обладнанні, що відповідає умовам дрібносерійного виробництва. Характеристики заводського технологічного процесу наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Заводський технологічний процес

Операція	Назва операції	Зміст операції	Номер і назва обладнання
1	2	3	4
005	Вертикально-фрезерна	1. Фрезерувати площину витримуючи розмір $16 \pm 0,6$ мм	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6Т12-1

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1	2	3	4
010	Радіально-свердлильна	<p>1. Свердлити послідовно 2 отв. на прохід, витримуючи розмір $\varnothing 17\text{мм}$.</p> <p>2. Свердлити послідовно 2 отв. $\varnothing 16,5^{+0,2}$ напрохід.</p> <p>3. Розвернути 2 отв. на прохід $\varnothing 17\text{H}9$</p>	Радіально-свердлильний верстат мод. 2Н55
015	Поздовжньо-фрезерна	1. Фрезерувати одночасно поверхні, витримуючи розмір 110 мм	Повздовжньо-фрезерний верстат мод.687С3
020	Вертикально-фрезерна	1. Фрезерувати площину витримуючи розмір 235 ₋₁ мм.	Вертикально-фрезерний верстат мод.6Т12-1
025	Горизонтально-розточувальна	<p>1. Розточити попередньо 2 отв. $\varnothing 71,5^{+0,2}$ мм напрохід</p> <p>2. Розвернути попередньо 2 отв. $\varnothing 71,8 \text{H}9$ напрохід</p> <p>3. Розвернути 2 отв. на прохід, витримуючи розмір $\varnothing 72\text{H}7$</p> <p>4. Розточити 2 отв. $\varnothing 79,5^{+0,2}$ на прохід</p> <p>5. Розвернути 2 отв. напрохід витримуючи розмір $\varnothing 80\text{H}7$</p>	Горизонтально-розточувальний верстат мод. 262М
030	Радіально-свердлильна	1. Зенкувати послідовно 2 фаски 2 x 30°	Радіально-свердлильний верстат мод. 2Н55

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1	2	3	4
035	Радіально-свердлильна	<ol style="list-style-type: none"> Свердлити послідовно 6 отв. $\text{Ø}6,7^{+0,2}$ Свердлити отв. $\text{Ø}22^{+0,3}$ на прохід Зенкувати послідовно фаски $1,6 \times 45^\circ$ Нарізати послідовно різьбленники в 6 отв. М8–7Н Нарізати різь $1424 \times 2-7Н$ 	Радіально-свердлильний верстат мод. 2Н55
040	Радіально-свердлильна	<ol style="list-style-type: none"> Свердлити послідовно 8 отв. $\text{Ø} 6,7^{+0,2}$ мм Зенкувати послідовно 8 фасок $1,6 \times 45^\circ$ Нарізати послідовно різьбленники в 8 отв. М8-7Н 	Радіально-свердлильний верстат мод. 2Н55
045	Радіально-свердлильна	<ol style="list-style-type: none"> Свердлити послідовно 8 отв. $\text{Ø} 6,7^{+0,2}$ мм Свердлити послідовно 6 отв. $\text{Ø} 10,2^{+0,2}$ мм Зенкувати послідовно 10 фасок $1,6 \times 45^\circ$ Нарізати послідовно різьбленники в 6 отв. М12 – 7Н Нарізати різі в 4 отв. М8 – 7Н 	Радіально-свердлильний верстат мод. 2Н55
050	Радіально-свердлильна	<ol style="list-style-type: none"> Свердлити отвір $\text{Ø} 14^{+0,2}$ мм Центрувати поверхню витримуючи розмір $5 \pm 0,5$ Зенкувати фаску $2 \times 45^\circ$ Нарізати різь М16 – 6Н 	Радіально-свердлильний верстат мод. 2Н55

Враховуючи те, що річна програма випуску становить до 1000 шт. в рік, в якості пристроїв використовують універсально-складальні пристрої. Заготовка виготовляється по класу точності (ДСТУ ГОСТ 26645:2016).

У результаті аналізу чинного технологічного процесу виявлено наступні недоліки:

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- виконання операцій нарізання різьби на радіально-свердлильному верстаті моделі 2Н55 є технологічно недосконалим;
- розподіл технологічних переходів між операціями є неоптимальним, зокрема на позиціях 025 та 040, що призводить до підвищеної трудомісткості та збільшення штучного часу;
- вибір технологічних баз на операціях 025 та 040 є недостатньо обґрунтованим;
- потребує перегляду доцільність використання наявних типів верстатів з огляду на задану програму випуску.

1.3. Сучасні тенденції у технології, обладнанні та оснащенні для обробки корпусних деталей. Порівняльна оцінка

Обробка корпусних деталей на універсальному обладнанні характеризується низкою обмежень:

- високою трудомісткістю, зумовленою значними витратами допоміжного часу;
- складністю забезпечення точності через багатоопераційність і використання різних верстатів;
- підвищеними вимогами до кваліфікаційних характеристик робітника і його досвіду через складну геометрію поверхонь;
- значними втратами часу на міжопераційне транспортування, складування та контроль;
- низьким коефіцієнтом використання верстатного парку через велику частку допоміжного часу;
- тривалими термінами переналагодження при переході на нову номенклатуру виробів.

Використанні у технологічному процесі багатоопераційних верстатів з ЧПК дозволяє нівелювати зазначені недоліки. Такі верстати забезпечують обробку корпусних деталей з усіх боків (за винятком базової площини) за один установ, з

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливістю виконання операцій під довільними кутами. Гнучкість систем ЧПК дає змогу реалізувати практично всі види механічної обробки.

Використання багатоцільових верстатів унеможливорює похибки, пов'язані з переустановленням заготовки [9], характерні для диференційованих методів обробки. Точність виготовлення визначається якістю керуючої програми, а не рівнем кваліфікації оператора. Крім того, скорочується виробничий цикл завдяки відмові від трудомісткої спеціальної оснастки, зменшенню міжопераційних простоїв і транспортних операцій.

До переваг при застосуванні багатоопераційних верстатів слід віднести:

- підвищення рівня організації виробництва та створення передумов для проведення комплексної автоматизації виробничого процесу;
- оперативність у внесенні змін до геометрії деталі шляхом коригування програми;
- покращення планування виробничих процесів;
- зменшення потреби у виробничих площах;
- поліпшення умов праці та загальної культури виробництва.

Основними обмеженнями використання багатоопераційного обладнання є:

- висока вартість верстато-години роботи;
- ускладнення технічного обслуговування та ремонту;
- ризик неефективного використання на технологічно простих операціях.

1.4 Аналіз формоутворення для оброблюваних поверхонь

Поверхні деталей, які підлягають обробці, можна інтерпретувати як неперервну сукупність послідовних положень (слідів) твірної лінії, яка переміщується вздовж іншої напрямної лінії. Відносні рухи інструмента та заготовки, які забезпечують формування таких ліній, визначаються як формоутворюючі й позначаються символом Ф. У процесі різання залежно від

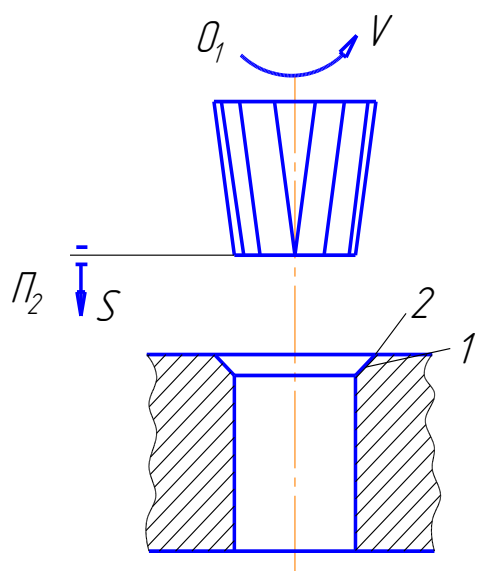
					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Метод	Принцип утворення	Кількість формоутворюючих рухів (Φ)	Приклади застосування
Обкату (огинання)	Відтворююча лінія формується як огинаюча множина послідовних положень ріжучої кромки при обкаті без ковзання	$\Phi = 1$	Зубофрезерування, нарізання різьби методом обкату
Сліду	Лінія утворюється як слід ріжучої кромки при відносному русі інструмента і заготовки	$\Phi = 1$	Токарна обробка, шліфування плоских поверхонь
Дотику	Лінія формується як огинаюча точок контакту багатьох ріжучих лез інструмента, який має обертовий рух, при відносних рухах осі інструмента і заготовки	$\Phi = 2$	Фрезерування, зубошліфування, обробка фасонними багатолезовими інструментами

Основні рухи :

1. Головний рух різання-обертання інструменту (заготовки) $\Phi_V(O_1)$;
2. Рух повздовжньої подачі $\Phi_{S1}(I_2)$;

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

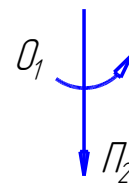


1-твірна; метод-копіювання.

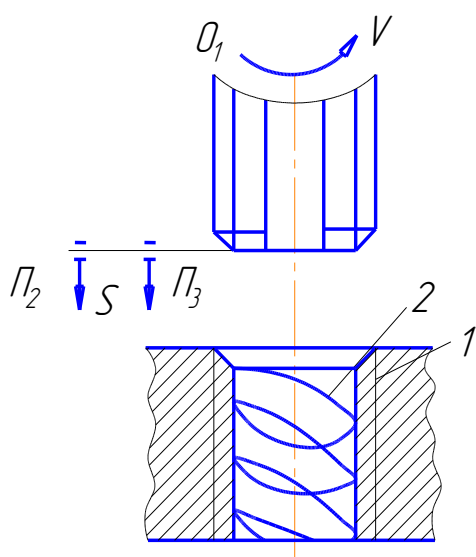
2-напрямна; метод-сліду.

$\Phi_V(O_1)$

$Vp(\Pi_2)$



Нарізання внутрішньої різі мітчиком:

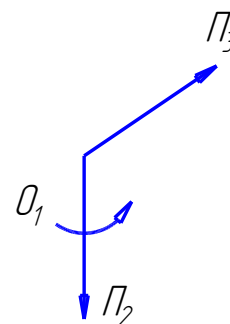


1-твірна; метод-копіювання.

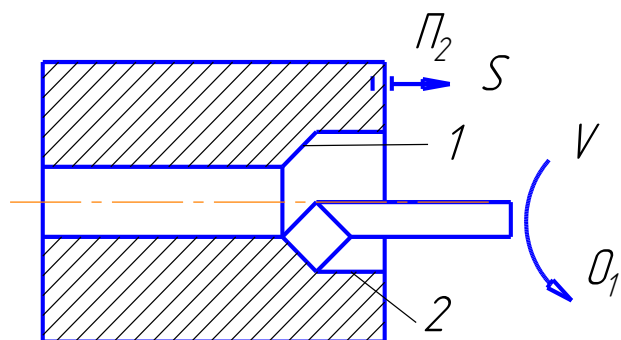
2-напрямна; метод-сліду.

$\Phi_V(O_1, \Pi_2)$

$Vp(\Pi_3)$



Розточування отвору:

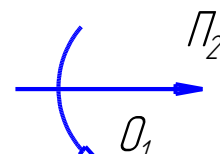


1-твірна; метод-сліду.

$\Phi_V(O_1)$

2-напрямна; метод-сліду.

$\Phi_S(\Pi_2)$



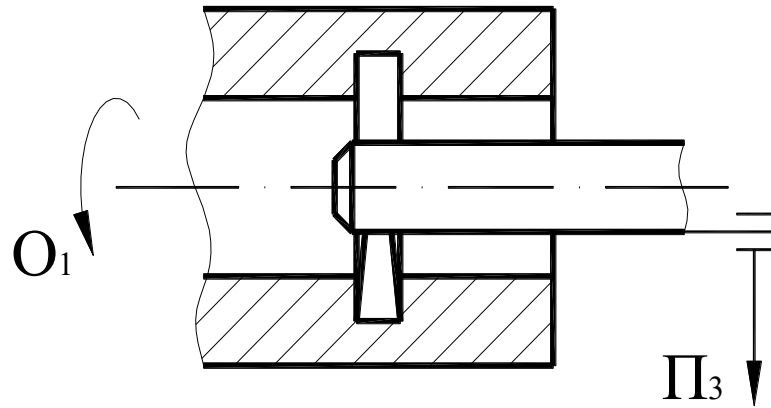
Прорізка кільцевих канавок: $\Phi_V(O_1), Vp(\Pi_3)$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

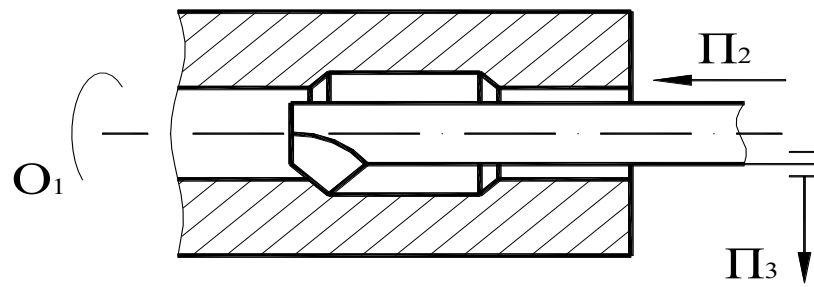
КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ

Арк.

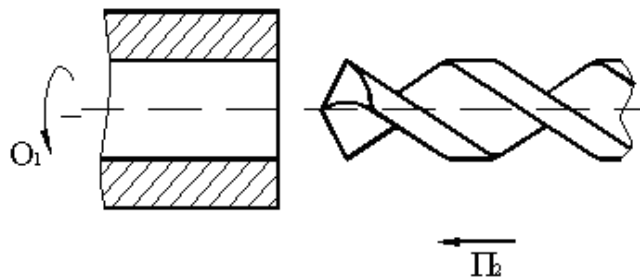
20



Розточування кільцевих канавок: $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$, $Vp(\Pi_3)$

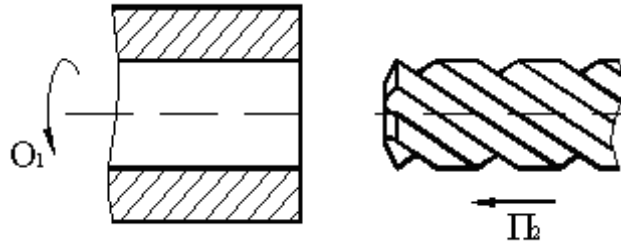


Свердління: $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$

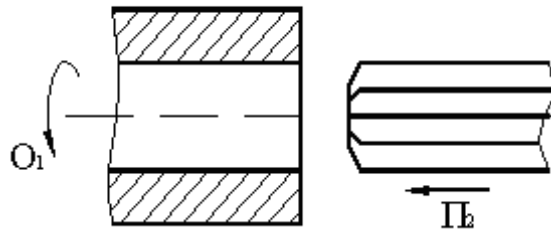


Зенкерування: $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$

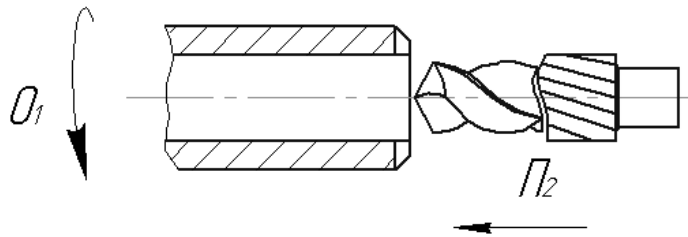
					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21



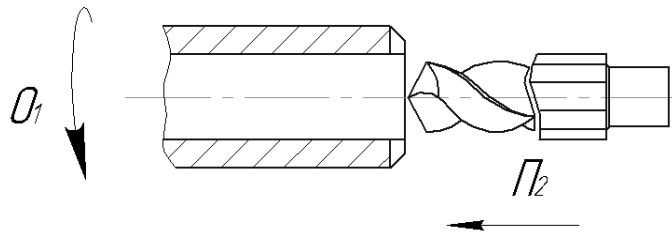
Розвертування : $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$



Свердління – зенкерування : $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$



Свердління – розвертання : $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ

Арк.

22

1.5. Висновки та завдання на кваліфікаційну роботу

Проведений аналіз заводського технологічного процесу механічної обробки деталі "Корпус ОПВ-2000" свідчить про доцільність його модернізації. Основними напрямками вдосконалення є:

- перебудова структури технологічного процесу;
- вибір верстатного обладнання, що забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності та собівартості;
- обґрунтування вибору заготовки з мінімальною собівартістю;
- розробка спеціалізованого технологічного оснащення для підвищення продуктивності та зниження витрат.

Оскільки діючий технологічний процес ґрунтується на використанні універсальних верстатів, у межах дипломного проекту пропонується:

1. Реорганізувати структуру технологічного процесу.
2. Запровадити високопродуктивне обладнання, зокрема агрегатні верстати та верстати з ЧПК.
3. Розробити раціональний спосіб отримання заготовки з мінімальними витратами.
4. Використовувати комбінований різальний інструмент для суміщення операцій.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Відпрацювання деталі на технологічність

Методом аналізу конструкцій деталі на технологічність є вияв недоліків по всіх даних, а також з'ясування можливості здійснити вдосконалення. Види, показники технологічності конструкцій приведені в ДСТУ ISO 9000:2015, суть яких полягає в широкому додержанні стандартних та нормалізованих деталей і їх елементів. Оцінка технологічності деталі буває двох видів: якісна і кількісна.

Якісна оцінка характеризує технологічність деталі дуже узагальнено, спираючись на оціночні показники виробника продукції.

Кількісна оцінка дається згідно рекомендацій ДСТУ ISO 9000:2015 за величинами наступних коефіцієнтів:

- коефіцієнт точності K_t ;
- коефіцієнт уніфікації $K_{ун}$;
- коефіцієнт шорсткості $K_{ш}$;
- коефіцієнт використання матеріалу $K_{вм}$.

Аналіз конструкції деталі показує що:

1. Деталь має правильну геометричну форму, що полегшує її базування, в процесі обробки, а також спрощує процес отримання заготовки.
2. Показники базових поверхонь (точність, шорсткість)

Для зручності розрахунку показників технологічності деталі „Корпус ОПВ – 2000" дані заносимо в таблицю 2.1.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Ластовецький						
Перевір.		Шанайда					24	17
Реценз.						ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41		
Н. Контр.		Кобельник						
Зав. каф.		Крупа						

Таблиця 2.1 - Уніфікація розмірів

№ пп	Базова деталь		Розміри після відпрацювання	
	Розміри, мм	Уніфікація	Розміри, мм	Уніфікація
1	8	Уніфікований	8	Уніфікований
2	15	Уніфікований	15	Уніфікований
3	30	Уніфікований	30	Уніфікований
4	7	Уніфікований	8	Уніфікований
5	5	Уніфікований	5	Уніфікований
6	Ø30	Уніфікований	Ø30	Уніфікований
7	18	Уніфікований	18	Уніфікований
8	R16	Уніфікований	R16	Уніфікований
9	14	Уніфікований	14	Уніфікований
10	100	Уніфікований	100	Уніфікований
11	220	Уніфікований	220	Уніфікований
12	60	Уніфікований	60	Уніфікований
13	35	Неуніфікований	34	Уніфікований
14	16	Уніфікований	16	Уніфікований
15	R10	Уніфікований	R10	Уніфікований
16	7	Неуніфікований	8	Уніфікований
17	Ø100	Уніфікований	Ø100	Уніфікований
18	Ø90	Уніфікований	Ø90	Уніфікований
19	26	Уніфікований	26	Уніфікований
20	Ø80	Уніфікований	Ø80	Уніфікований
21	Ø135	Неуніфікований	Ø135	Неуніфікований
22	R76	Неуніфікований	R76	Неуніфікований
23	12	Уніфікований	12	Уніфікований
24	40	Уніфікований	40	Уніфікований

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ

Арк.

25

продовження табл. 2.1

25	150	Уніфікований	150	Уніфікований
26	235	Неуніфікований	240	Уніфікований
27	265	Неуніфікований	260	Уніфікований
28	32	Уніфікований	32	Уніфікований
29	30	Уніфікований	30	Уніфікований
30	50	Уніфікований	50	Уніфікований
31	R160	Уніфікований	R160	Уніфікований
32	60	Уніфікований	60	Уніфікований
33	R13	Уніфікований	R13	Уніфікований
34	Ø80	Уніфікований	Ø80	Уніфікований
35	Ø72	Неуніфікований	Ø72	Неуніфікований
36	Ø17	Уніфікований	Ø17	Уніфікований
37	25	Уніфікований	25	Уніфікований
38	2	Уніфікований	2	Уніфікований
39	23	Неуніфікований	22	Уніфікований
40	18	Уніфікований	18	Уніфікований
41	R60	Уніфікований	R60	Уніфікований
42	110	Уніфікований	110	Уніфікований
43	140	Уніфікований	140	Уніфікований
44	150	Уніфікований	150	Уніфікований
45	364	Неуніфікований	364	Неуніфікований
46	15	Уніфікований	15	Уніфікований
47	20	Уніфікований	20	Уніфікований
48	60	Уніфікований	60	Уніфікований
49	106	Неуніфікований	105	Уніфікований
50	8	Уніфікований	8	Уніфікований
51	40	Уніфікований	40	Уніфікований
52	190	Уніфікований	190	Уніфікований

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

продовження табл. 2.1

53	Ø22	Уніфікований	Ø22	Уніфікований
54	R10	Уніфікований	R10	Уніфікований
55	72	Неуніфікований	71	Уніфікований
	$\Sigma 55$	$\Sigma 43$	$\Sigma 55$	$\Sigma 51$

Далі проведено аналіз геометричної точності виконавчих розмірів деталі.
Числові дані за результатами аналізу подано в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Точність розмірів

№ п/п	Базова деталь		Розміри після вдосконалень	
	Розміри, мм	Квалітет	Розміри, мм	Квалітет
1	16±0,6	14	16±0,6	14
2	Ø17+0,4	14	Ø17+0,4	14
3	Ø17H9	9	Ø17H9	9
4	110±0,2	12	110±0,2	12
5	235 ₋₁	14	235 ₋₁	14
6	Ø72H7 ^{+0.03}	7	Ø72H7 ^{+0.03}	7
7	Ø80H7 ^{+0.03}	7	Ø80H7 ^{+0.03}	7
8	M8-6H	12	M8-6H	12
9	M24×2-7H	12	M24×2-7H	12
10	M8-6H	12	M8-6H	12
11	M12-7H	12	M12-7H	12
12	M8-7H	12	M8-7H	12
13	5±0,5	14	5±0,5	14
14	M16-6H	12	M16-6H	12

Аналіз шорсткості поверхонь подано в таблиці 2.3.

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 2.3 - Шорсткість поверхонь

№ ПОВ.	Базова деталь		Значення після вдосконалення	
	Розміри, мм	Шорсткість, мкм	Розміри, мм	Шорсткість, мкм
1	16±0,6	20	16±0,6	20
2	Ø17+0,4	20	Ø17+0,4	20
3	Ø17H9	5	Ø17H9	5
4	110±0,2	5	110±0,2	5
5	235 ₋₁	5	235 ₋₁	5
6	Ø72H7 ^{+0.03}	2,5	Ø72H7 ^{+0.03}	2,5
7	Ø80H7 ^{+0.03}	2,5	Ø80H7 ^{+0.03}	2,5
8	M8-6H	5	M8-6H	5
9	M24×2-7H	5	M24×2-7H	5
10	M8-6H	5	M8-6H	5
11	M12-7H	5	M12-7H	5
12	M8-7H	5	M8-7H	5
13	5±0,5	5	5±0,5	5
14	M16-6H	5	M16-6H	5

Коефіцієнт точності розраховують за формулою:

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{\text{сеп}}} \quad (2.1)$$

де $A_{\text{сеп}}$ - середній квалітет точності, який розраховують за формулою:

$$A_{\text{сеп}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i}$$

де T_i - квалітет точності i -ої операції;

n_i - кількість поверхонь.

$$A_{\text{сеп}}^{(\text{баз})} = \frac{14 \cdot 4 + 9 \cdot 1 + 12 \cdot 7 + 7 \cdot 2}{14} = 11,642$$

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$A_{сер}^{(mod)} = \frac{14 \cdot 4 + 9 \cdot 1 + 12 \cdot 7 + 7 \cdot 2}{14} = 11,642$$

$$K_T^{(баз)} = 1 - \frac{1}{11,642} = 0,9141$$

$$K_T^{(mod)} = 1 - \frac{1}{11,642} = 0,9141$$

Коефіцієнт шорсткості розраховують за формулою:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_{ш}} \quad (2.2)$$

де $B_{ш}$ - середня шорсткість деталі, яку розраховують за формулою:

$$B_{ш} = \frac{0,01 \cdot n_{0,01} + 0,02 \cdot n_{0,02} + \dots + 80 n_{80}}{n_{0,01} + n_{0,02} + \dots + n_{80}}, \quad (2.3)$$

де $n_{0,01}$, $n_{0,02}$, ... n_{80} - кількість поверхонь із шорсткістю, яка відповідає зазначеному параметру R_a .

$$B_{ш}^{(баз)} = \frac{2,5 \cdot 2 + 5 \cdot 10 + 20 \cdot 2}{14} = 6,785$$

$$B_{ш}^{(mod)} = \frac{2,5 \cdot 2 + 5 \cdot 10 + 20 \cdot 2}{14} = 6,785$$

$$K_{ш}^{(баз)} = 1 - \frac{1}{6,785} = 0,8526$$

$$K_{ш}^{(mod)} = 1 - \frac{1}{6,785} = 0,8526$$

Коефіцієнт уніфікації розраховують за формулою:

$$K_{ун} = \frac{Q_{ue}}{Q_e} \quad (2.4)$$

де Q_{ue} - кількість уніфікованих типорозмірів конструктивних елементів;

Q_e - кількість типорозмірів конструктивних елементів.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{ун}^{(баз)} = \frac{43}{55} = 0,781$$

$$K_{ун}^{(мод)} = \frac{51}{55} = 0,927$$

Так як $K_{ун} > K_{уннорм} = 0,8$, то деталь технологічна за ступенем уніфікації.

$$K_{вм} = \frac{m}{M} \quad (2.5)$$

де m – маса деталі, кг

M – маса заготовки, кг

$$K_{вм} = \frac{14,5}{15,3} = 0,947$$

Так як $K_{ун} > K_{уннорм} = 0,8$, то деталь технологічна за ступенем використання матеріалу.

Коефіцієнт рівня технологічності визначають за формулою:

$$K_{рм} = \frac{K_{дн.}^{(мод)}}{K_{дн.}^{(баз)}} \cdot \frac{K_{Т}^{(мод)}}{K_{Т}^{(баз)}} \cdot \frac{K_{м}^{(мод)}}{K_{м}^{(баз)}} \quad (2.6)$$

$$K_{рм} = \frac{0,927}{0,781} \cdot \frac{0,9141}{0,9141} \cdot \frac{0,8526}{0,8526} = 1,1869$$

Коефіцієнт зміни рівня технологічності визначають за формулою:

$$K_{зрм} = (K_{рм} - 1) \times 100 \% \quad (2.7)$$

$$K_{зрм} = (1,1869 - 1) \times 100 \% = 18,69 \%$$

Отже, в результаті відпрацювання деталі на технологічність, рівень технологічності зріс на 18,69 %

2.2 Аналіз методів обробки поверхонь

Згідно із службовим призначенням поверхні деталі виконують різноманітні функції, тому вимоги до цих поверхонь мають задовольняти різні критерії [10]: геометричну точність [11], шорсткість [12], поверхневу твердість. Ці вимоги можна забезпечити шляхом використанням різноманітних технологічних прийомів у процесі механічної обробки. Технологічні методи та прийоми

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обирають враховуючи габаритні розміри заготовки, характер та точність попередньої технологічної операції, властивості матеріалу, наявність пошкоджень у структурі матеріалу, наявність технологічного обладнання тощо.

Коректність призначення методів обробки визначають при забезпеченні умови:

$$\varepsilon_p \leq \prod_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (2.8)$$

де ε_p – значення розрахункового коефіцієнта уточнення;

ε_i - коефіцієнти уточнення для окремих ступеней (переходів).

$$\prod_{i=1}^n \varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdots \varepsilon_n \quad (2.9)$$

$$\text{де } \varepsilon_1 = \frac{T_1}{T_2}; \quad \varepsilon_2 = \frac{T_2}{T_3}; \quad \varepsilon_3 = \frac{T_3}{T_4}; \quad \varepsilon_n = \frac{T_n}{T_{n+1}} \quad (2.10)$$

де T_1, T_2, T_3, T_n - допуск для виготовлення для конкретного технологічного переходу.

Розрахунковий коефіцієнт уточнення визначають за формулою [13]:

$$\varepsilon_p = \frac{T_{заг}}{T_{дет}} \quad (2.11)$$

де $T_{заг}$ - допуск на виготовлення заготовки;

$T_{дет}$ - допуск на виготовлення деталі.

Кількість переходів оброблювання визначають за формулою:

$$\Pi = \frac{l_g E_p}{0,46} \quad (2.12)$$

Для зручності розрахунків дані зведено в таблицю 2.4.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 - Встановлення методів оброблення поверхонь

№ поверхні	Розмір, мм	Допуск, мкм	Шорсткість, мкм	Допуск на заготовк, мкм	Уточнення по кресл, $\epsilon_{кр}$	К-ть переходів, n	Методи обробки	Точність методу	Уточнення для кожного методу	Загальне уточнення
1	16	430	20	700	1,62	0,46	Фрезерування	430	1,6	1,6
2	17	430	20	700	1,62	0,46	Свердління	430	1,6	1,6
3	17	43	5	430	10	2,1	1. Свердління 2. Зенкування 3. Розверчування	110 70 43	3,9 1,57 1,62	9,91
4	110	540	5	870	1,62	0,45	Фрезерування	540	1,6	1,6
5	235	115 0	5	185 0	1,6	0,44	Фрезерування	115 0	1,6	1,6
6	72	30	2,5	460	15,3	2,001	1. Розточуван. чорнове 2. Розточуван. чистове	120 30	3,86 4	15,32
7	80	30	25	460	15,3	2,001	1. Розточуван. чорнове 2. Розточуван. Чистове	120 30	3,83 4	15,32

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ

Арк.

32

Продовження табл. 2.4

	8	90	5	220	2,44	0,84	Нарізання різі	90	2,4	2,4
9	24	130	5	330	2,53	0,87	Нарізання різі	130	2,53	2,53
10	8	90	5	220	2,44	0,84	Нарізання різі	90	2,4	2,4
11	12	110	5	270	2,45	0,84	Нарізання різі	110	2,45	2,45
12	8	90	5	220	2,44	0,84	Нарізання різі	90	2,4	2,4
13	5	300	5	480	1,6	0,44	Цекування	300	1,6	1,6
14	16	110	5	430	3,9	0,94	Нарізання різі	110	3,9	3,9

2.3 Детальна розробка оптимального варіанту технологічного процесу

Проектування нових та вдосконалення існуючих варіантів технологічного процесу є багатоваріатним і тому необхідно вибрати такий із варіантів, який забезпечив би максимальну ефективність оброблення в конкурентних умовах виробництва. Оптимальний технологічний процес вибираємо методом порівняльного аналізу при якому за якісними ознаками порівнюють кілька варіантів, що забезпечують досягнення мети проектування. Найчастіше, як критерій оптимізації використовують собівартість.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Розробляємо декілька варіантів технологічного процесу прийнявши за основу заводський технологічний процес оброблення деталі "Корпус ОПВ 2000".

Для визначення оптимального технологічного процесу будуємо каскадний граф (рис.3.1), в основі якого лежить заводський технологічний процес.

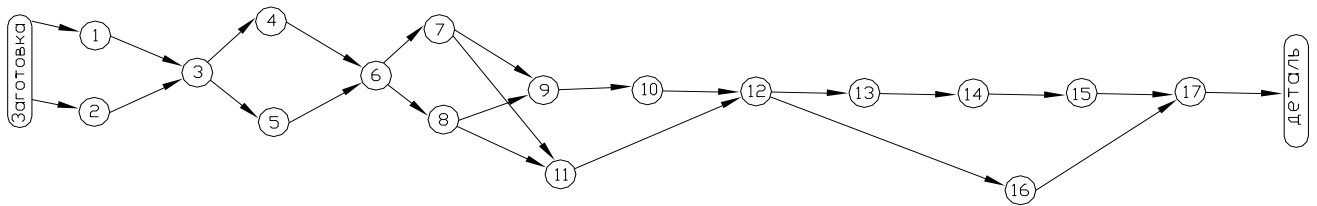


Рисунок 2.1 – Каскадний граф варіантів ТП механічної обробки деталі "Корпус ОПВ 2000".

Визначення кількості варіантів технологічного процесу для деталі „Корпус”

$$B = 2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 10$$
 варіантів.

2.3.1 Визначення допусків, припусків і операційних розмірів

Розрахунок припусків аналітичним методом виконуємо на поверхні отвору Ø72Н7.

Призначення припусків на всі інші поверхні виконуємо згідно ДСТУ EN 1371-3:2019.

Загальне значення припуску визначають за формулою:

$$z_{\text{zimin}} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + E_i^2}) \quad (2.13)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – досяжна шорсткість попереднього переходу, мкм;

T_{i-1} – глибина проникнення дефектів на попередньому переході;

ρ_{i-1} – просторове відхилення заготовки з попереднього переходу, мкм;

ϵ_{i-1} – похибка закріплення деталі на переході, мкм.

Заготовка являє собою виливку масою 14,5 кг, клас точності 10.

Технологічний маршрут оброблювання поверхні (Ø72Н7) складається з двох переходів:

- чорнове розточування ;
- чистове розточування.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові дані припусків на обробку зводимо у централізовану таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 -Розрахунок припусків на оброблювання поверхні Ø72Н7

Технологічні переходи оброблення поверхні Ø72Н7	Елементи припуску, мкм				2·z _{min} , мкм	δ, мкм
	R _z	T	ρ	ε		
Заготовка	-	600	1283	-	-	-
Розточування чорнове	50	-	64	206	2·1898	190
Розточування чистове	20	-	-	10	2·115	74

Значення R_z і T вибираємо з таблиць [13].

Дана деталь відноситься до корпусних деталей. Заготовка базується на даній операції на площину основи і два отвори Ø17мм виконаних попередньо.

Сумарне значення просторових відхилень визначають за формулою:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{зм}^2} \quad (2.14)$$

де $\rho_{кор}$ - короблення заготовки, мкм;

$\rho_{зм}$ - зміщення заготовки, мкм.

Короблення заготовки визначають за формулою:

$$\rho_{кор} = \sqrt{(\Delta_k d)^2 + (\Delta_k + l)^2} \quad (2.15)$$

де Δ_k - кривизна заготовки, мкм:

$$\Delta_k = 0,7 - 1 \text{ мкм}, [13].$$

Зміщення оброблюваного отвору, відносно зовнішньої поверхні отвору у заготовці розглядаємо як геометричну суму похибок у двох перпендикулярних площинах:

$$\rho_{зм} = \sqrt{\left(\frac{\delta_A}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_B}{2}\right)^2} \quad (2.16)$$

де δ_A, δ_B - допуски на розміри А і Б по класу точності;

$$\rho_{зк} = \sqrt{\left(\frac{1600}{2}\right)^2 + 1000^2} = 1280 \text{ мкм}$$

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\rho_{кор} = \sqrt{(0.9 \cdot 72)^2 + (0.9 \cdot 110)^2} = 100 \text{ мкм}$$

Підставивши значення у формулу 2.16 отримаємо:

$$\rho_3 = \sqrt{1280^2 + 100^2} = 1283 \text{ мкм}$$

Величина сумарного просторового відхилення після чорнового розточування:

$$\rho_1 = 0,05 \cdot \rho_3 = 0,05 \cdot 1283 = 64 \text{ мкм} \quad (2.17)$$

Похибку встановлення заготовки на переході визначають за формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (2.18)$$

де ε_6 – похибка базування, мм

ε_3 – похибка фіксації, мм

Найбільший зазор між виконаним отвором і установочними пальцями на технологічній приспособі визначають за формулою:

$$\delta_{\max} = \delta_{отв} + \delta_{палец} + \delta_{\min} \quad (2.19)$$

де $\delta_{отв}$ – допуск на оброблюваний отвір,

$\delta_{палец}$ – допуск на діаметр установочного пальця,

δ_{\min} – зазор між діаметрами установочного пальця і обробленим отвором;

$$\delta_{отв} = 43 \text{ мкм} = 0,043 \text{ мм}$$

$$\delta_{палец} = 42 \text{ мкм} = 0,042 \text{ мм}$$

$$\delta_{\min} = 13 \text{ мкм} = 0,013 \text{ мм}$$

Підставивши значення в формулу 2.29 отримаємо:

$$\delta_{\max} = 0,043 + 0,042 + 0,013 = 0,098 \text{ мм}$$

Кут провороту заготовки на установочних пальцях шукають з відношення визначеного зазору при повороті в один бік стосовно середнього положення до діагональної відстані між розглядуваними отворами:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S_{\max}}{\sqrt{150^2 + 150^2}} = 0.00046 \quad (2.20)$$

де l_1, l_2 - відстань між пальцями.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$tg\alpha = \frac{0.098}{\sqrt{150^2 + 150^2}} = 0.00046$$

Похибка базування з врахуванням віддаленості оброблюваного отвору рівна:

$$\varepsilon_{\phi} = l \cdot tg\alpha = 110 \cdot 0.00046 = 0.05 \text{ мм} \quad (2.21)$$

де l - відстань до оброблюваного отвору.

Похибку закріплення заготовки знаходимо табличним методом $\varepsilon_3 = 200 \text{ мкм}$

$$\varepsilon_1 = \sqrt{50^2 + 200^2} = 206 \text{ мкм}$$

Кінцева похибка закріплення у процесі чистового розточування $\varepsilon_3 = 0,05\varepsilon + \varepsilon_{in0}$

$$\text{де } \varepsilon_2 = 0,05 \cdot 206 + 0 = 10,3 \text{ мкм}$$

За формулою 2.13 визначаємо значення мінімального припуску:

$$2_{z_{\min 1}} = 2 \left(600 + \sqrt{1283^2 + 206^2} \right) = 2 \cdot 1898 \text{ мкм}$$

$$2_{z_{\min 2}} = 2 \left(50 + \sqrt{64 + 10.3} \right) = 2 \cdot 115 \text{ мкм}$$

Допуски на технологічні переходи приймаємо в залежності від точності, яку ми дістаємо на одному переході.

Припуски і допуски на інші оброблювані поверхні деталі „Корпус” призначаємо згідно ДСТУ ISO 8062-3:2019

Значення припусків і допусків зводимо в таблицю 2.6

Таблиця 2.6 - Припуски і допуски на обробку поверхонь деталі згідно ДСТУ ISO 8062-3:2019

Поверхня	Розмір, мм	Припуск, мм	Допуск, мм
1	235	2	1,4
4	110 ± 0,27	1,6	1,2
5	235	2	1,4
6	72 + 0,03	1,8	0,2
7	80 + 0,03	1,6	1,1
20	40	1,6	0,9

2.3.2 Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення

Режим різання при механічній обробці деталей виступає визначальним чинником ефективності технологічного процесу [13, 14]. Параметри режиму повинні добиратися таким чином, щоб забезпечити оптимальну продуктивність праці за умов мінімізації собівартості операцій. Встановлення режимів різання здійснюється з урахуванням конструктивних особливостей деталі, характеристик інструмента та можливостей верстатного обладнання.

Призначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом виконуємо на одну операцію. На інші операції режими різання призначаємо табличним методом.

Операція 005. Вертикально-фрезерна

Фрезерувати площину 1

Інструмент: торцева фреза з вставними ножами з твердого сплаву ВК6 (ДСТУ EN 847-1:2013);

$D = 250\text{мм}; B = 47\text{ мм}; d = 50; z = 24$

Глибина різання $t = 2\text{ мм}$

Подача $S_z = 0,2\text{ мм}$ ([14])

Середнє значення стійкості $T = 240\text{ хв.}$ [14]

Швидкість різання визначають за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^g}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^d} \cdot K_v \quad (2.22)$$

де C_v - коефіцієнт швидкості,

D – діаметр фрези, мм;

T – стійкість інструменту, хв.;

q, m, x, y, u, p – показники степенів.

K_v – поправочний коефіцієнт швидкості

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (2.23)$$

де K_{mv} – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу;

K_{nv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K_{uv} – коефіцієнт, який враховує якість матеріалу інструменту;

$$K_{mv} = 1;$$

$$K_{nv} = 0,8;$$

$$K_{uv} = 1;$$

$$K_v = 1 \times 0,8 \times 1 = 0,8.$$

Значення коефіцієнтів C_v , x , y , m вибираємо по табл. [13, 14]:

$$C_v = 445; x = 0,15; y = 0,35; q = 0,2; u = 0,2; m = 0,32$$

Підставимо значення у формулу 2.22 отримаємо:

$$V = \frac{445 \cdot 250^{0,2}}{240^{0,32} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,2^{0,35} \cdot 190^{0,2} \cdot 24^0} \cdot 0,8 = 105,17$$

Частота обертання визначають за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_\phi} \quad (2.24)$$

де D_ϕ – діаметр фрези, мм

$$n = \frac{1000 \cdot 105,17}{3,14 \cdot 250} = 133,9 \text{ хв}^{-1}$$

Сила різання визначають за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t_x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^g \cdot n^w} \cdot K_{MP} \quad (2.25)$$

де C_p - коефіцієнт сили різання;

x , y , n , w – показники степеня;

K_{MP} - поправочний коефіцієнт ($K_{MP} = 1$).

$$C_p = 54,5; x = 0,9; y = 0,74; u = 1; W = 0 \text{ табл.47}$$

тоді:

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 2^{0,9} \cdot 0,2^{0,74} \cdot 190^1 \cdot 24}{250^1 \cdot 133,9^0} \cdot 1 = 5637,8 \text{ Н}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (2.26)$$

$$N = \frac{5637,8 \cdot 105,17}{1020 \cdot 60} = 4,31 \text{ кВт}$$

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність приводу верстату:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta} = \frac{4,31}{0,75} = 5,54 \text{ кВт}$$

Вибір верстату здійснюється по виду обробки, розмірам, потужністю приводу згідно [15].

Вибираємо верстат вертикально-фрезерний 6Р11.

$$N = 50 \div 1600 \text{ об / хв} \quad N_{\text{дв}} = 5.5 \text{ кВт}$$

Коректуємо режими різання по верстату:

$$\varphi^{m-1} = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}} = \frac{1600}{50} = 32$$

$$\varphi = 1,26 \quad \varphi^{15} = 32$$

$$\varphi_x = \frac{n_{\text{розр}}}{n_{\text{min}}} = \frac{133,9}{50} = 2,67$$

В графі таблиці, яка відповідає $\varphi = 1,26$ знаходимо найближче значення $\varphi = 2,5$.

Тоді $n_{\text{прийн}} = 50 \times 2,5 = 125 \text{ об / хв}$.

Тоді швидкість різання:

$$V_{\text{д}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{ф}} \cdot n_{\text{прийн}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 125}{1000} = 98,12 \text{ м/хв}$$

Дійсна подача на зуб фрези:

$$S_{\text{зд}} = \frac{S_{\text{М.н.р}}}{z \cdot n_{\text{табл}}} = \frac{600}{24 \cdot 125} = 0,2 \text{ мм/зуб}$$

$$S_{\text{М.н.р}} = S_z \cdot z \cdot n_{\text{ум}} = 0,2 \cdot 24 \cdot 125 = 600$$

Уточнене значення сили різання:

$$P_{\text{зд}} = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 2^{0,9} \cdot 0,2^{0,74} \cdot 190^1 \cdot 24}{250^{0,32} \cdot 125^0} \cdot 1 = 5631,2 \text{ Н}$$

Уточнене значення ефективної потужності:

$$N_{\text{ед}} = \frac{P_{\text{зд}} \cdot V_{\text{д}}}{1020 \cdot 60} = \frac{5631,2 \cdot 98,12}{1020 \cdot 60} = 5,143 \text{ кВт}$$

Режими різання по операціях представлені у табл. 2.7.

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7

Режим різання

№	Номер операції	Назва та зміст операції	Інструмент	Розрахункові значення					Верстат N, кВт	Прийняті значення		
				t_1 мм	S_1 мм	V м/хв	n $хв^{-1}$	$N\delta v$ кВт		S_1 мм	V м/хв	n $хв^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	005	Вертикально-фрезерна Фрезерувати поверхню 1	Фреза торцева ГОСТ 9473-80	2	0,2	105,1 7	133,9	5,54	6P11 N=5,5	0,2	98,12	125
2	010	Вертикально-свердлильний Свердлити одноч. 4 отв. 2	Комбінований інструмент	8,5	0,42	74,09	1385,5	5,77	2H150 N=7,5	0,4	76,9	1440
3	015	Горизонтально- фрезерна Фрезерувати поверхні 3 одноч.	Фреза циліндрична ГОСТ 8721-69	2	0,2	75	148,2	5,4	6H81Г N=5,5	0,25	63,7	160
4	020	Вертикально- фрезерна Фрезерувати поверхн. 4	Фреза торцева ГОСТ 9473-80	2	0,2	115	292,8	5,41	6P11 N=5,5	0,2	105,6	315

КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ

Змін.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата													
					5	025	Алмазно- розточна Розточити 2 отв. 5 і 6		1,89	0,3	130	517,2	3,08	2705В N=5,5	0,25	125,3	500
					6	030	Агрегатна 1.Свердлити 6 отв. і зняти фаску 2. Нарізати нарізь в 6 отв.	Комбінований інструмент	3,35	0,1	57	1980,6	3,55	СМ21	0,1	59,5	1600
								Мітчик ГОСТ 4752-80	0,65	0,7	10	316,4	0,4	3Φ2	0,8	9,8	315
					7	035	Вертикально-свердлильна 1. Свердлити отв. і зняти фаску 2. Нарізати нарізь	Комбінований інструмент	11	0,45	4,5	651	1,41	2Н135	0,45	50	800
								Мітчик ГОСТ 4754-80	1	0,7	10	132,6	1,73	N= 4	0,7	10,3	130
					8	040	Агрегатна 1.Свердлити 8 отв. 2. Нарізати різьби в 8 отв. 3. Свердлити 8 отв. і зняти фаску 4. Нарізати нарізі в 8 отв.	Комбінований інструмент	3,35	0,18	36	1710,3	4,1		0,18	37,6	1600
								Мітчик ГОСТ 4752-80	0,65	0,7	10	398,8	0,6	СМ21	0,7	10,5	375
								Комбінований інструмент	5,1	0,2	38	1185,8	1,8	3Φ2	0,2	39,7	1000
								Мітчик ГОСТ 4754-80	0,9	0,7	10	265,2	0,43		0,7	10	265

КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ

9	045	Вертикально-свердлильна 1.Свердлити отвір і зняти фаску 2. Нарізати нарізь в отворі	Комбінований інструмент Мітчик ГОСТ 4759-80	7 1	0,3 0,7	45 12	1023,1 238,7	2,2 0,5	2Н125 N= 2,2	0,3 0,5	47,3 12,7	1000 236
---	-----	--	--	--------	------------	----------	-----------------	------------	-----------------	------------	--------------	-------------

КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Вибір та обґрунтування структурно–кінематичної схеми верстата

Визначившись з формоутворюючими рухами формуємо структурно–кінематичну схему верстату.

Ланцюг приводу головного руху включає двигун M_1 та коробку швидкостей (рис. 3.1).

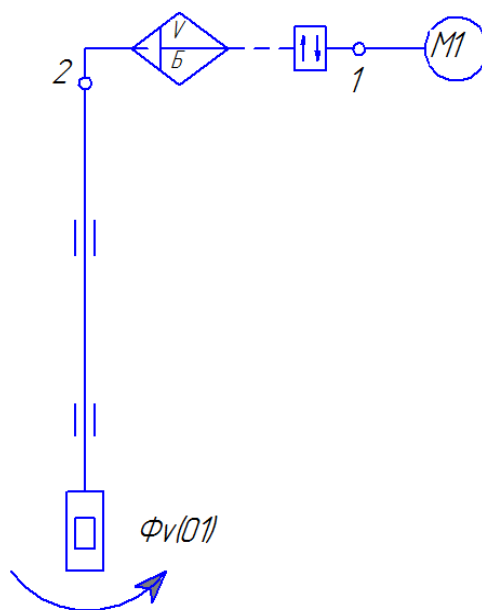


Рисунок 3.1 - Ланцюг приводу головного руху

1) Кінематична група для забезпечення головного руху різання $\Phi_v(O_1)$.

Джерелом руху є електродвигун M_1 .

Виконавчим органом виступає шпиндель верстата. Розглядають наступні типи кінематичних зв'язків:

ВКЗ (внутрішній кінематичний зв'язок);

ЗКЗ (зовнішній кінематичний зв'язок) - кінематичний ланцюг між шпинделем та двигуном.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Ласовецький				КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Шанайда						44	26
Реценз.						ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41		
Н. Контр.	Кобельник							
Зав. каф.	Крупа							

Підвід металорізальних інструментів у зону обробки (до заготовки) та їх відвід після закінчення обробки здійснюють вручну з використанням пристрою штурвального типу.

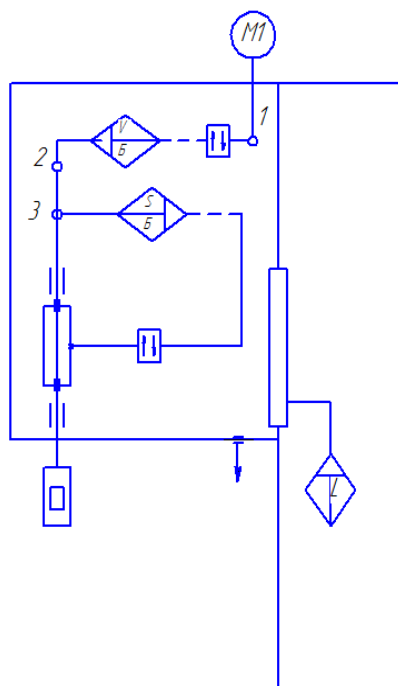


Рисунок 3.3 - Кінематичний ланцюг переміщення свердлильної головки

Кінематичний ланцюг переміщення столу верстату забезпечує переміщення столу вздовж стійки верстату (рис. 3.4).

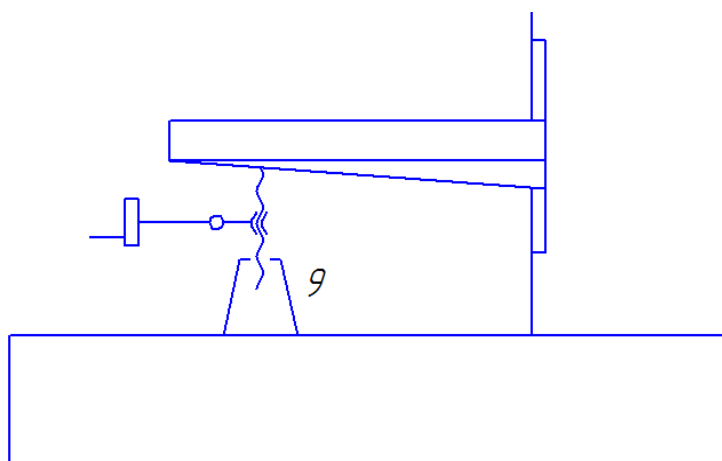


Рисунок 3.4 - Кінематичний ланцюг переміщення столу верстату

Цей кінематичний ланцюг дозволяє здійснити установочне переміщення стола. Підйом столу здійснюють за допомогою передачі гвинт-гайка за допомогою рукоятки.

На основі розроблених структурно-кінематичних ланок верстату складаємо загальну схему верстату (рис. 3.5).

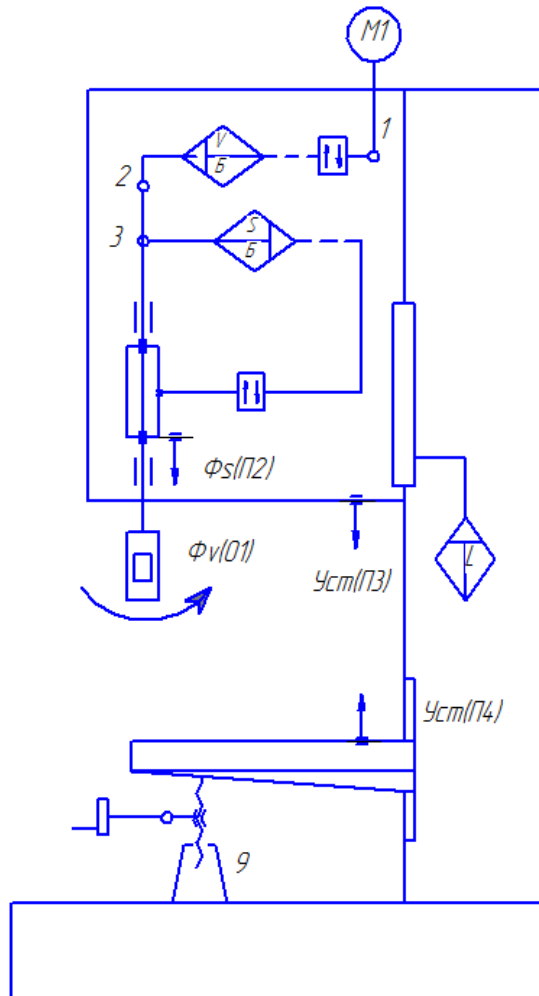


Рисунок 3.5 - Структурно – кінематична схема верстата

3.2 Розрахунок приводу головного руху

3.2.1 Розрахунок ефективної потужності

На основі розробленої структурно-кінематичної схеми розробляємо кінематичну схему верстата [15, 16]. При цьому ми виходимо з того, що в приводі верстата використовується асинхронний короткозамкнутий одношвидкісний електродвигун.

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо показники наступних параметрів:

$N_{\text{эф}}$ - ефективна потужність приводу, кВт;

$M_{\text{кр}}$ - крутний момент на шпинделі, Нм;

$P_{\text{ос}}$ - осьове зусилля на приводі подач, Н;

n - частота обертання шпинделя, об/хв;

S - подача шпинделя на 1 оберт, мм/об.

Для $N_{\text{эф}}$, $M_{\text{кр}}$, $P_{\text{ос}}$ визначаємо максимальні значення, для n і S – максимальні значення, мінімальні значення і діапазон регулювання.

Силові параметри визначаємо виходячи із розрахунку чорнових режимів різання. Кінематичні параметри визначаємо виходячи з розрахунку режимів різання при чистовій обробці.

Доцільно провести розрахунок режимів різання [13, 14] і відповідно призначити параметри для забезпечення необхідних сил різання та крутного моменту для операції з максимальним навантаженням на виконавчі органи верстата. До такої операції слід віднести чорнове свердління отвору діаметром 25 мм, легованої сталі з $\sigma_{\text{вр}}=800$ МПа свердлом із швидкорізальної сталі. Значення подачі для прийнятих умов визначають за формулою [13, 14]:

$$S_o = S_{\text{от}} \cdot K_{\text{sl}} \cdot K_{\text{сж}} \cdot K_{\text{си}} \cdot K_{\text{sd}} \cdot K_{\text{см}} = 0.4 \text{ мм/об}, \quad (3.1)$$

де: $S_{\text{от}}=0.4$ мм/об (для свердління із забезпеченням якості ІТ12);

$K_{\text{sl}}=1$ – при $L_{\text{св}} < 3D$;

$K_{\text{сж}}=1$ – при високій жорсткості системи ВПД;

$K_{\text{си}}=1$ – при використанні свердла із швидкорізальної сталі;

$K_{\text{sd}}=1$ – при наскрізному свердлінні;

$K_{\text{см}}=1$ – при свердлінні легованих сталей із $\sigma_{\text{в}} > 750$ МПа.

Швидкість різання визначають за формулою:

$$V = V_T \cdot K_{\text{vm}} \cdot K_{\text{vl}} \cdot K_{\text{vo}} \cdot K_{\text{vi}} \cdot K_{\text{vd}} \cdot K_{\text{vt}} \quad (3.2)$$

де $V_T=28$ м/хв при діаметрі свердління 20 мм і подачі 0.4 мм/об;

$K_{\text{vm}}=0.52$ при обробці легованих сталей 40Х, 65Г;

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$K_{v1}=1$ при глибині свердління $<3D$;

$K_{v0}=1$ для свердління з МОР;

$K_{v1}=0.91$ (свердло з швидкоріжучої сталі Р6М5);

$K_{vd}=0.9$ при наскрізному свердлінні;

$K_{vt}=1$ при стійкості свердла 100 хв.

Тоді

$$V = 28 \cdot 0.52 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.91 \cdot 0.9 \cdot 1 = 11.92 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n=1000V/\pi D = 1000 \cdot 11.92 / 3.14 \cdot 20 = 189.8 \text{ об/хв.} \quad (3.3)$$

Приймаємо $n=160$ об/хв.

Зусилля подачі P_o , Н:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^{q_p} \cdot S^{Y_p} \cdot K_p \quad (3.4)$$

Крутний момент, $M_{кр}$, Нм:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^{q_M} \cdot S^{Y_M} \cdot K_p \quad (3.5)$$

Значення коефіцієнтів у формулах:

$C_p=8.5$; $C_M=0.0345$; $q_p=1.0$; $q_M=2.0$; $Y_p=0.7$; $Y_M=0.8$; $K_p=(\sigma_{вр}/750)^{np}$;
 $np=0.75$.

Тоді

$$P_o=10 \cdot 85 \cdot 20^1 \cdot 0.4^{0.7} \cdot (750/750)^{0.75} = 8951.4 \text{ Н,}$$

$$M_{кр}=10 \cdot 0.0345 \cdot 20^2 \cdot 0.4^{0.8} \cdot (750/750)^{0.75} = 66.3 \text{ Нм.}$$

Значення ефективної потужності для забезпечення процесу різання $N_{\text{еф}}$:

$$N_{\text{еф}}=M_{кр} \cdot n/9750 = 66.3 \cdot 160/9750 = 1.088 \text{ кВт} \quad (3.6)$$

Визначаємо номінально ефективну потужність двигуна приводу головного руху враховуючи затрати потужності, яка буде використана на виконання подач N_p і втрати потужності холостого ходу N_x [14]:

$$N_{\text{эд}} = \frac{N_{\text{эф}}}{K \cdot \eta} + N_x + N_n, \quad (3.7)$$

де $K=1.25$ – коефіцієнт при короткочасному перевантаженні двигуна;

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\eta=0.75-0.85$ – КПД приводу (приймають оптимально = 0.85).

Розрахункове значення потужності, яка буде затрачена на привід механізму подач:

$$N_{\Pi} = Q \cdot S \cdot n / 6120000, \quad Q = P_0 + 2000 \cdot M_{кр} \cdot f / d_{шп}, \quad (3.8)$$

де $f=0.15$ – коефіцієнт тертя для шліцевого з'єднання шпинделя у гільзі коробки швидкостей;

$d_{шп}=20$ мм (рекомендовано приймати найбільше наближеним до максимального діаметру свердління).

$$Q = 8951.4 + 2000 \cdot 66.3 \cdot 0.15 / 20 = 9945.9 \text{ Н}$$

$$N_{\Pi} = 9945.0 \cdot 0.4 \cdot 160 / 6120000 = 0.104 \text{ кВт.}$$

Потужність холостого ходу (для 5-ти валової коробки швидкостей):

$$N_x = 10^{-6} \cdot K_M \cdot d_{cp} \cdot (n_1+n_2+n_3+K_{шп} \cdot d_{шп} \cdot n_{шп}/d_{cp}), \quad (3.9)$$

де $K_M=4.0$ (коефіцієнт впливу змазування),

$d_{cp}=20$ мм – середній діаметр проміжних валів привода(приблизно);

$n_1=1415$ об/хв.; $n_2=1250$ об/хв.; $n_3=1000$ об/хв, $n_4=500$ об/хв – частоти обертання 1, 2, 3, 4-го валів коробки швидкостей (обираємо приблизно);

$K_{шп}=1.5$ – коефіцієнт додаткових втрат у шпиндельному вузлі;

$d_{шп}=20$ мм;

$n_{шп}=160$ об/хв – частота обертання шпинделя.

Тоді ми отримаємо:

$$N_x = 10^{-6} \cdot 4.0 \cdot 20 \cdot (1415+1250+1000+500+1.5 \cdot 20 \cdot 160/20) = 0.352 \text{ кВт.}$$

$$N_{дв} = 1.088 / (1.25 \cdot 0.85) + 0.104 + 0.352 = 1,48 \text{ кВт.}$$

Таким чином номінальна потужність електродвигуна 1,5 кВт цілком достатня для приводу головного руху верстата.

Приймаємо двигун [15] асинхронний коротко замкнутий одношвидкісний електродвигун [АИР Україна](#) АИР80В4 У2 ІМ 1081 фланцевого виконання потужністю 1.5 кВт. Синхронна частота обертання ротора складає 1500 об/хв, а асинхронна, тобто фактична кількість обертів з якої розраховують частоту обертання вала шпинделя $n_{дв}=1415$ об/хв.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивні розміри електродвигуна, які необхідні для його облаштування у конструкції верстата:

- діаметр вихідного вала $d=22$ мм; довжина вильоту вала $l=50$ мм; шпонка $b=6$ мм;
- фланець: діаметр $D_{\phi}=200$ мм, товщина фланця $t=10$ мм;
- посадковий виступ $D=130$, глибина $h=3.5$ мм;
- кріпильні отвори: кількість – 4, діаметр – 12 мм;
- загальні габарити: довжина $L=320$ мм;
- максимальний діаметр $D_{\max}=212$ мм.

3.2.2 Кінематичний розрахунок

Діапазон регулювання частоти обертання шпинделя визначають за формулою [15]:

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{2000}{160} = 12,5. \quad (3.10)$$

Число ступенів коробки швидкостей визначаємо за формулою:

$$z = \frac{\lg R_n}{\lg \varphi} + 1, \quad (3.11)$$

де φ – знаменник прогресії ряду частот обертання шпинделя.

Відповідно до паспортних даних верстату-прототипу (2Н125) приймаємо $\varphi = 1,26$.

Тоді, $z = \frac{\lg 12,5}{\lg 1,26} + 1 = 1 + 10,97 = 11,97$. Приймаємо $z = 12$.

При виборі структурної формули привода необхідно враховувати обмеження на максимальне число передач в одному груповому механізмі $P \leq 4$ і порядок розташування груп передач у кінематичному ланцюзі $P_1 \geq P_2 \geq \dots$ (у порядку зменшення числа передач).

Будуємо структурні сітки і вибираємо найкращий варіант переключення передач. Для $z = 12$ найкращою є структура із трьома групами передач ($k=3$).

Будуємо кінематичну схему привода. При цьому додаємо одну постійну зубчасту передачу від вала двигуна до коробки швидкостей. Спочатку будуємо

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

спрощену кінематичну схему (рис. 3.6) без відображення конкретних механізмів, що реалізують передачу руху.

Для $z=12$ число варіантів переключення (структурних сіток) дорівнює:

$$k! = 3! = 6.$$

Розпишемо їх, визначальні характеристики груп передач і будемо структурні сітки.

Варіанти переключення:

- 1) $Z = 2_0 [1] \times 3_1 [2] \times 2_2 [6]$;
- 2) $Z = 2_0 [1] \times 3_2 [4] \times 2_1 [2]$;
- 3) $Z = 2_1 [3] \times 3_0 [1] \times 2_2 [6]$;
- 4) $Z = 2_2 [6] \times 3_0 [1] \times 2_1 [3]$;
- 5) $Z = 2_1 [2] \times 3_2 [4] \times 2_0 [1]$;
- 6) $Z = 2_2 [6] \times 3_1 [2] \times 2_0 [1]$;

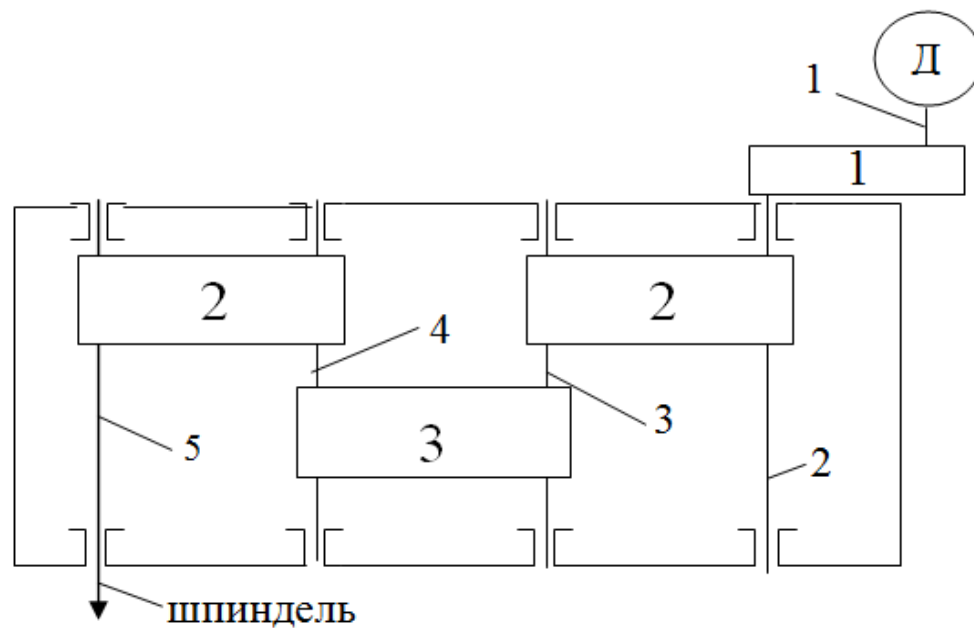


Рисунок 3.6 - Спрощена кінематична схема привода

На рис. 3.7. приведені 1-й і 3-й варіанти структурних сіток.

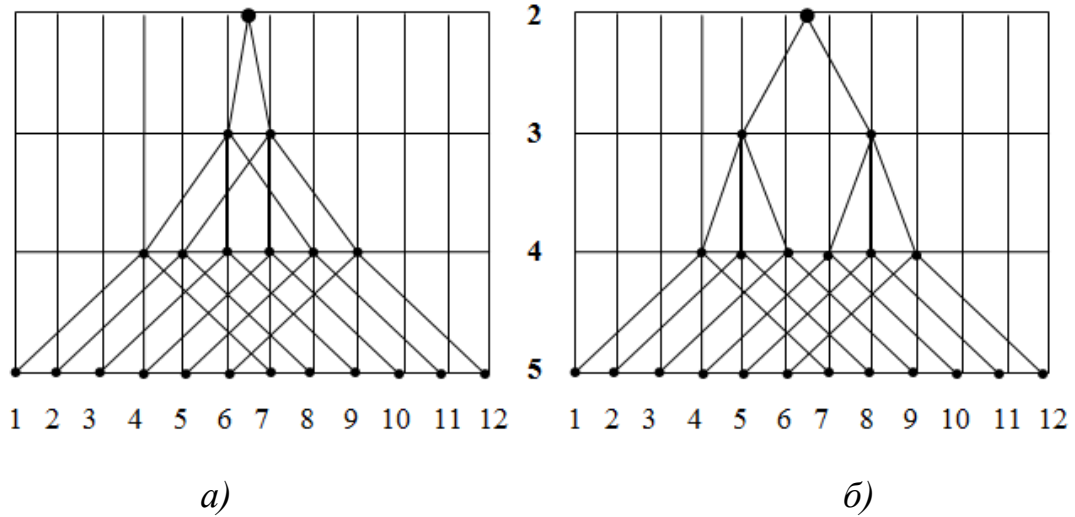


Рисунок 3.7 - Варіанти структурних сіток

Вибираємо 1-й варіант переключення передач (варіант а) структурної сітки), оскільки в ньому діапазон швидкостей на проміжних валах буде меншим (6 інтервалів I_{ϕ} проти 8-ми по 3-му варіанті). При меншому діапазоні інтервалів I_{ϕ} ми отримаємо менші габарити привода (вище мінімальна частота обертання 3-го вала, менший розрахунковий крутний момент на валу).

На рис. 3.8. приведено структурно сітку приводу з врахуванням першої ступені – від двигуна до коробки.

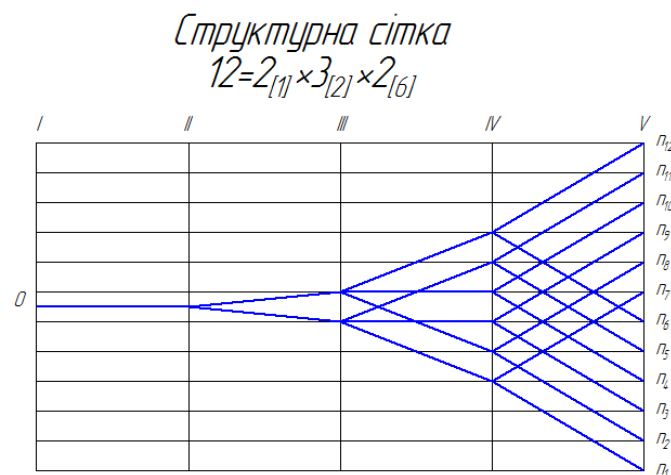


Рисунок 3.8 - Структурна сітка обраного варіанту

Побудова графіку частот обертання шпинделя.

Передаточне відношення кінематичної пари для швидкісних передач рекомендовано витримувати в межах:

$$\frac{1}{4} \leq i \leq 2,0. \quad (3.12)$$

Для $\varphi = 1,26$: $\frac{1}{4} = \frac{1}{\varphi^6} \leq i \leq \varphi^3 = 2,0$

Для формування графіка частоти обертання вала шпинделя слід використати це ж саме структурне поле, яке було для побудови структурної сітки (рис. 3.9).

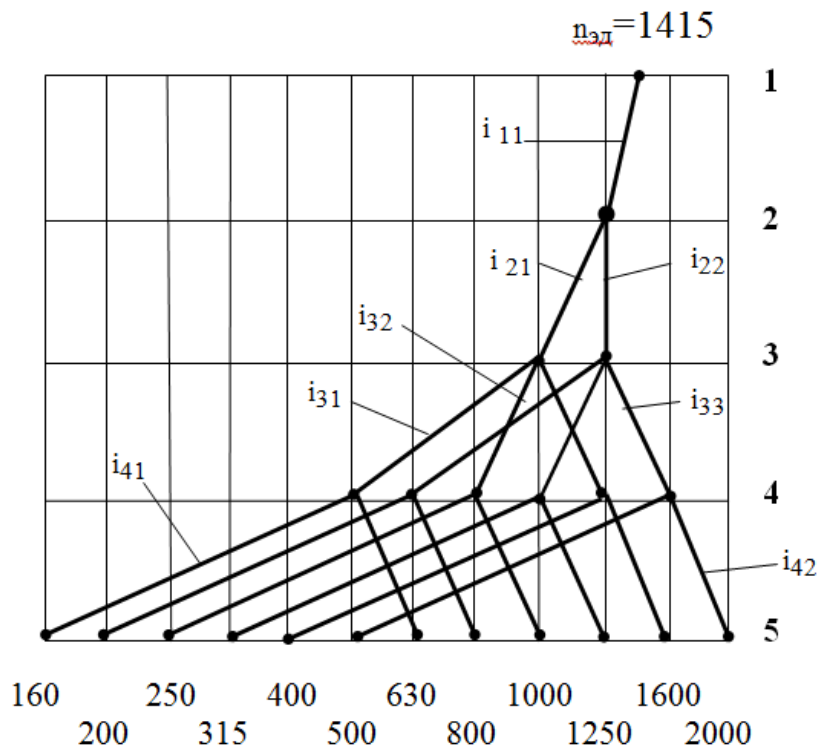


Рисунок 3.9 - Структурна сітка обраного варіанту

Значення передатних відносин за графіком:

$$\begin{aligned} i_{11} &= 1250 / 1415 = 1/1.132; & i_{32} &= \varphi^1 = 1/1.26; \\ i_{21} &= \varphi^1 = 1/1.26; & i_{33} &= \varphi^1 = 1.26; \\ i_{22} &= \varphi^0 = 1; & i_{41} &= \varphi^5 = 1/3.15; \\ i_{31} &= \varphi^3 = 1/2; & i_{42} &= \varphi^1 = 1.26. \end{aligned}$$

Розраховуємо значення чисел зубів для зубчастих коліс у коробці швидкостей. Приймаємо, що всі зубчасті передачі мають один модуль і відстань між валами є постійною.

Далі розраховуємо числа зубів зубчастих коліс з урахуванням зв'язування механізмів. Добуток зв'язаних передатних передач у першому(А) і другому(В) механізмах визначається співвідношенням [15, 17]:

$$i_A \cdot i_B = \varphi^{R_a - R_b} = \varphi^{1-3} = \varphi^{-2}.$$

Такий результат виходить при $i_A = i_{21}$ та $i_B = i_{32}$.

Розраховуємо числа зубів. При цьому підбираємо такі суми зубів передач, щоб результат їх ділення на $(u+1)$, де u – передаточне число передачі, був як можна ближчим до цілого числа. Це забезпечить найменшу похибку передаточних відносин передач і частот обертання шпинделю.

1) Постійна передача $i_{11} = Z_1/Z_2 = 1/1.132$. Приймаємо $Z_1 = 30$. Тоді $Z_2 = 30 \cdot 1.132 = 33.96 = 34$.

2) 2-га і 3-я зв'язані групи (зв'язане колесо Z_6).

$$Z_3/Z_4 = 1/1.26;$$

$$Z_5/Z_6 = 1.0;$$

$$Z_3+Z_4 = Z_5+Z_6;$$

$$Z_7/Z_8 = 1/2;$$

$$Z_6/Z_9 = 1/1.26;$$

$$Z_{10}/Z_{11} = 1.26;$$

$$Z_7+Z_8 = Z_6+Z_9;$$

$$Z_7+Z_8 = Z_{10}+Z_{11}.$$

3) 4-та група передач:

$$Z_{12}/Z_{13} = 1/3.16.;$$

$$Z_{14}/Z_{15} = 1.26;$$

$$Z_{12}+Z_{13} = Z_{14}+Z_{15}.$$

Приймаємо число зубів найменшого колеса $Z_{12} = 21$. Числа зубів інших коліс одержуємо, вирішуючи систему рівнянь. При цьому для 3-го і 4-го механізмів приймаємо однакові суми зубів передач. Результати розрахунку подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Розрахункові значення чисел зубів зубчастих коліс

Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_6	Z_9	Z_{10}	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}	Z_{14}	Z_{15}
33	37	42	42	32	63	42	53	53	42	21	67	49	39
$i_{21}=1/1.276$		$i_{22}=1.0$		$i_{31}=1/2$		$i_{32}=1/1.27$		$i_{33}=1.27$		$i_{41}=1/3.17$		$i_{42}=1.27$	

Таким чином, числа зубів розраховані з мінімальною похибкою і отримане однократне зв'язування двох механізмів. Зв'язане (загальне) колесо $Z_6=33$.

Згідно наведених розрахунків виконаємо ескіз кінематичної схеми коробки швидкостей на рис. 3.10.

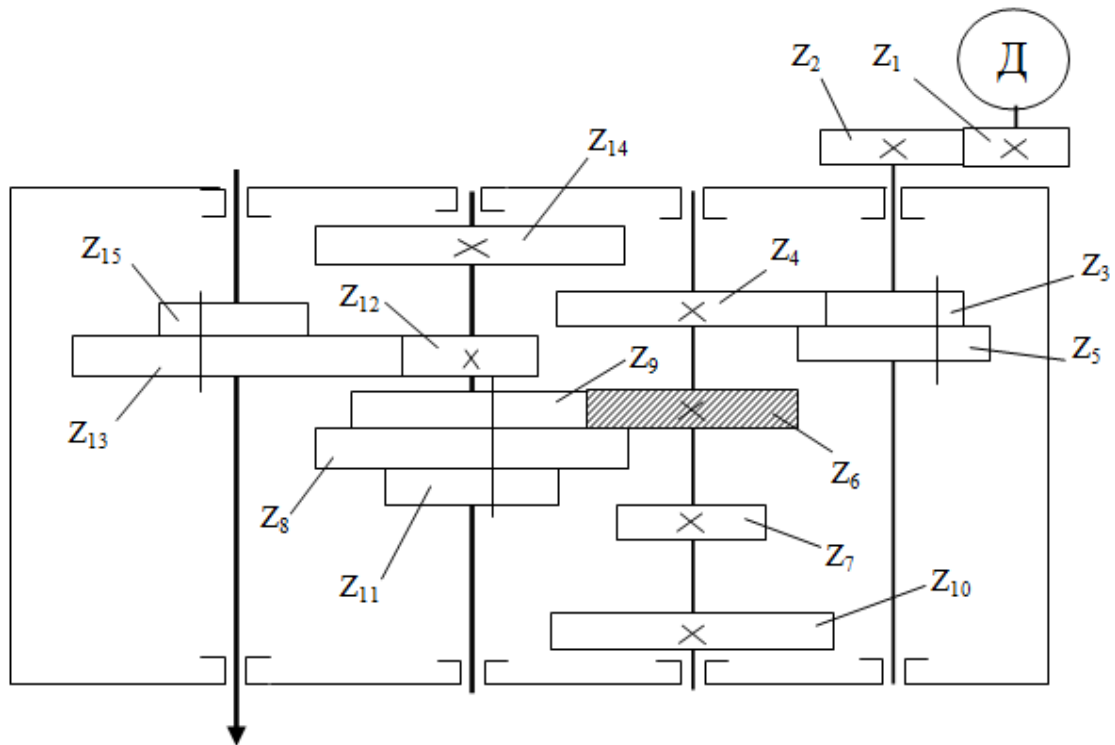


Рисунок 3.10 - Ескіз кінематичної схеми коробки швидкостей

3.2.3 Розробка конструкції коробки швидкостей та її розрахунок

3.2.3.1 Визначення значень крутних моментів на валах кінематичного ланцюга приводу головного руху

Виконання розрахунку частот обертання по валу для всіх передач проводимо за формулою:

$$n_i = n_1 \cdot \varphi^{i-1} \quad (3.13)$$

– розрахункове значення частоти обертання на валу для -ї передачі.

$$n_i = n_{i-1} \cdot \varphi \quad \text{об/хв}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2. Значення частот обертання на валах

вал	1	2	3	4	5
передача					
1	1415	1261.9	1002.4	502.4	158,9
2	1415	1261.9	1261.9	632.5	200.0
3	1415	1261.9	1002.4	796.2	251.8
4	1415	1261.9	1261.9	1002.4	317.0
5	1415	1261.9	1002.4	1261.9	399.1
6	1415	1261.9	1261.9	1588.7	502.4
7	1415	1261.9	1002.4	502.4	632.5
8	1415	1261.9	1261.9	632.5	796.2
9	1415	1261.9	1002.4	796.2	1002.4
10	1415	1261.9	1261.9	1002.4	1261.9
11	1415	1261.9	1002.4	1261.9	1588.7
12	1415	1261.9	1261.9	1588.7	2000.0

Визначення крутних моментів на валах у кінематичному ланцюгу приводу проводимо за формулою [15]:

$$T_{np} = 9550 \frac{N_{ef} \eta}{n_{розр}} \quad (3.14)$$

де η – ККД ланцюга від електричного двигуна до розглядуваного валу,

$n_{розр}$ - частота обертання заданого валу, об/хв.

Результати розрахунку зведемо в таблицю 3.3.

Для подальших розрахунків візьмемо максимальні значення крутних моментів на валах в передачах:

на першому валу - двигуна – найбільший крутний момент – 10,12 Нм;

на другому валу - передача Z_1/Z_2 крутний момент – 10,79 Нм;

на третьому валу - передача Z_3/Z_4 крутний момент – 12,91 Нм;

на четвертому валу - передача Z_7/Z_8 крутний момент – 24,48 Нм;

на п'ятому валу - передача Z_{12}/Z_{13} крутний момент – 73,55 Нм;

Таблиця 3.3. Значення крутних моментів на валах і передачах

вал	1	2	3	4	5
передача					
1	10,12	10,79	12,91	24,48	73,55
2	10,12	10,79	10,25	19,44	58,44
3	10,12	10,79	12,91	15,45	46,42
4	10,12	10,79	10,25	12,27	36,87
5	10,12	10,79	12,91	9,75	29,28
6	10,12	10,79	10,25	7,74	23,26
7	10,12	10,79	12,91	24,48	18,48
8	10,12	10,79	10,25	19,44	14,68
9	10,12	10,79	12,91	15,45	11,66
10	10,12	10,79	10,25	12,27	9,26
11	10,12	10,79	12,91	9,75	7,36
12	10,12	10,79	10,25	7,74	5,84

Кутові швидкості на валах кінематичного ланцюга визначають за формулою [15]:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (3.15)$$

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

Отже кутова швидкість валу електродвигуна: $\omega_1 = \frac{3,14 \cdot 1415}{30} = 148,2 \text{ 1/с}$

Решта результатів розрахунків зводимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4

Кутові швидкості на валах, в залежності від включеної передачі

вал	1	2	3	4	5
передача					
1	148,10	132,08	104,92	52,58	16,63
2	148,10	132,08	132,08	66,20	20,93
3	148,10	132,08	104,92	83,34	26,36
4	148,10	132,08	132,08	104,92	33,18
5	148,10	132,08	104,92	132,08	41,77
6	148,10	132,08	132,08	166,28	52,58
7	148,10	132,08	104,92	52,58	66,20
8	148,10	132,08	132,08	66,20	83,34
9	148,10	132,08	104,92	83,34	104,92
10	148,10	132,08	132,08	104,92	132,08
11	148,10	132,08	104,92	132,08	166,28
12	148,10	132,08	132,08	166,28	209,33

3.2.3.2 Розрахунок модуля передач та параметрів зубчастих коліс

Розрахунок доцільно проводити для найбільш навантаженої передачі коробки швидкостей.

Крутний момент на шестерні $T = 73,55$ Нм

Допустимі контактні напруги $\sigma = 350$ МПа

Число зубів шестерні $Z_{12} = 21$

Число зубів колеса $Z_{13} = 67$

Кількість обертів шестерні $n = 160$ об/хв.

Розраховуємо значення модуля передачі з умови забезпечення згинної міцності зубів [18]:

$$m = 12,6 \sqrt[3]{\frac{T_{об} K_n}{y Z_k \psi_m [\sigma]_n}} \quad (3.16)$$

Приймаємо: $K_n = 1,1$; $y = 0,284$; $\psi_m = 6$

Тоді:

$$m = 12,6 \sqrt[3]{\frac{73,55 \cdot 1,1}{0,284 \cdot 88 \cdot 6 \cdot 350}} \approx 1,53$$

Відповідно до значень ряду стандартних величин значень модуля для зубчастих коліс, доцільно прийняти для подальших розрахунків модуль рівний $m = 2$.

Розраховуємо теоретичне значення міжосьової відстані з умови забезпечення поверхневої міцності зубів колеса:

$$A = 10 \cdot (U + 1) \sqrt[3]{\left(\frac{332}{U \cdot [\sigma]_{нод}}\right)^2 \frac{T_{об}}{\psi_m}} \quad (3.17)$$

де: $[\sigma]_{нод} = \sigma_{к,д} \cdot K_{к,реж}$

$\sigma_{к,д} = 900$ МПа

$$K_{к,реж} = 1,2 \sqrt[6]{\frac{K_N N_o P}{60 T_p n_p}}$$

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$[\sigma]_{\text{до}} = 900 \cdot 1,32 = 1188 \text{ мПа}$$

Розрахункове значення міжосьової відстані $A_{\text{розр}}$:

$$A = 10(3,17+1) \sqrt[3]{\left(\frac{332}{3,17 \cdot 1188}\right)^2 \frac{73,55}{0,15}} = 66,83 \text{ мм}$$

Розрахункове значення міжосьової відстані, визначене за модулем передачі:

$$A = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{2 \cdot (21 + 67)}{2} = 88 \text{ мм}$$

Оскільки розраховане значення "A" більше "A_{розр}", то прийняте значення модуля забезпечуватиме працездатність передачі за критеріями забезпечення згинної і контактної міцності зубів зубчастих коліс. Модулі для всіх решти передач приймемо таким самими. Міжосьову відстань між решта валами визначаємо по прийнятому значенню модуля.

3.3 Проектування приводу подач верстата

3.3.1 Обґрунтування конструкції приводу подач

Вибираємо структурну формулу привода подач і будуємо його кінематичну (принципову конструктивну) схему. У верстаті-аналогові 2Н125 привод подач забезпечує 9 ступіней, а структурна формула коробки подач $Z=3 \times 3$. В проектуваному верстаті ми розробляємо коробку подач яка буде містити 8 ступіней подач. У розроблюваному варіанті конструкції верстату можливі три варіанти структурних формул:

- 1) $Z=4 \times 2$;
- 2) $Z=2 \times 4$;
- 3) $Z=2 \times 2 \times 2$.

В усіх варіантах по 6 передач, але в 1-ому та 2-му варіанті 3 вали, а в 3-му 4 вали. Приймаємо 1-й варіант структурної формули, тому що він буде мати менші габарити в радіальному напрямі та в конструкції буде менше на 1 вал.

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для структурної формули $Z= 4 \cdot 2$ вибираємо оптимальний варіант переключення передач. Як основну групу приймаємо групу на 4 передачі, а подвійний блок призначаємо 1-им помножувальним. При такому варіанті переключення діапазони регулювання групових передач будуть найменшими і меншими будуть радіальні габарити зубчастих передач. Розраховуємо характеристики груп передач і будемо структурну сітку (рис. 3.11).

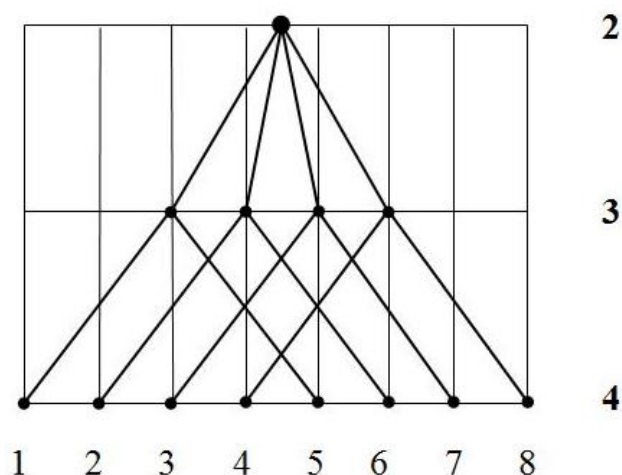


Рисунок 3.11 - Структурна сітка приводу подач

Розгорнута структурна формула коробки подач буде мати вид:

$Z=4[1] \cdot 2[4]$, де в квадратних дужках записані характеристики груп передач.

При цьому для одержання розрідження по краях діапазону розсовуємо крайні промені в основній групі передач (четверний блок) на один інтервал вліво і вправо. Для запропонованої структурна сітка будемо спрощену кінематичну схему, яка приведена на рис. 3.12.

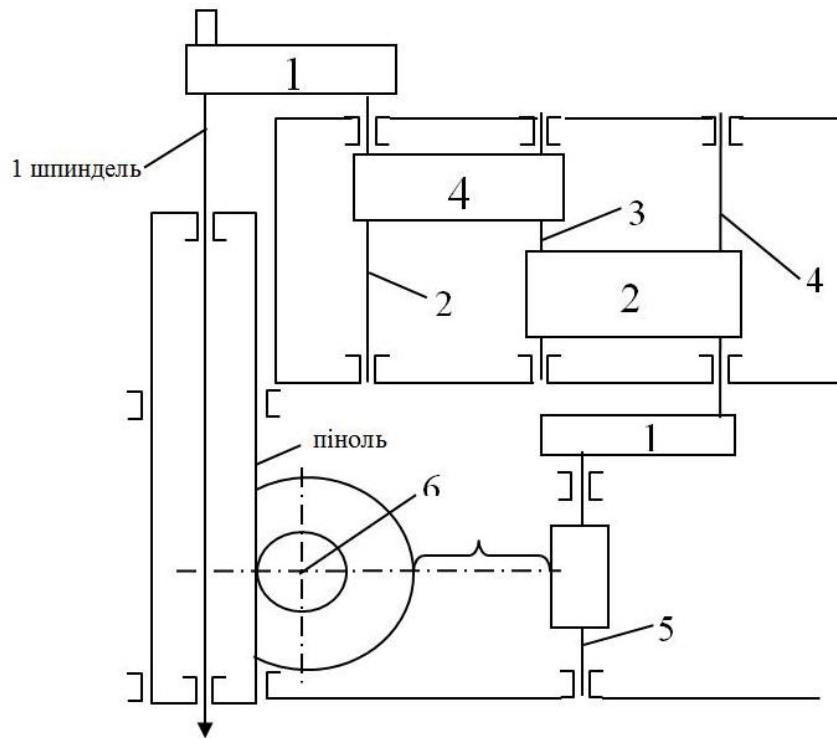


Рисунок 3.12 - Спрощена кінематична схема приводу подач

Для побудови графіка частот обертання приводу подач задаємося параметрами рейкової передачі, орієнтуючись на верстат-аналог. Приймаємо модуль $m=2.5$ мм, число зубів шестірні $Z_{рш}=14$. Розраховуємо загальне уповільнення приводу $i_{зам}$ та число інтервалів $Lg(\phi)$ в уповільненні $E_{зам}$.

$$i_{зам} = (S_1/T)/n_{др}, \quad (3.20)$$

$$E_{зам} = Lg(i_{зам})/Lg(\phi) \quad (3.21)$$

У формулі (3.20) $T=\pi \cdot m \cdot Z_{рш}$, довжина дуги ділительного кола рейкової шестерні. Ця величина називається кроком тягового механізму, вона визначає величину переміщення робочого органа ланцюга подач (пінолі) за один оберт рейкової шестірні.

$n_{др}$ – вхідна частота обертання для приводу подач. Джерелом руху у свердлильних верстатах є шпиндель. Подача вимірюється в міліметрах на 1 оберт шпинделя, тому $n_{др}=1$.

$$T = 3.14159 \cdot 2.5 \cdot 14 = 109.956 \text{ мм,}$$

$$i_{зам} = (0.1 / 109.956) / 1 = 1/1099.56,$$

$$E_{зам} = Lg(1/1099.56) / Lg(1.41) = -20.275$$

Будуємо графік частот обертання приводу подач (рис. 3.13). Передатне

										КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
											62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

відношення черв'ячної передачі приймаємо рівним $1/60$. При цьому промінь, що зображує це передатне відношення на графіку повинний перетинати $Lg(1/60)/Lg(\varphi) = -11,854$ інтервалів.

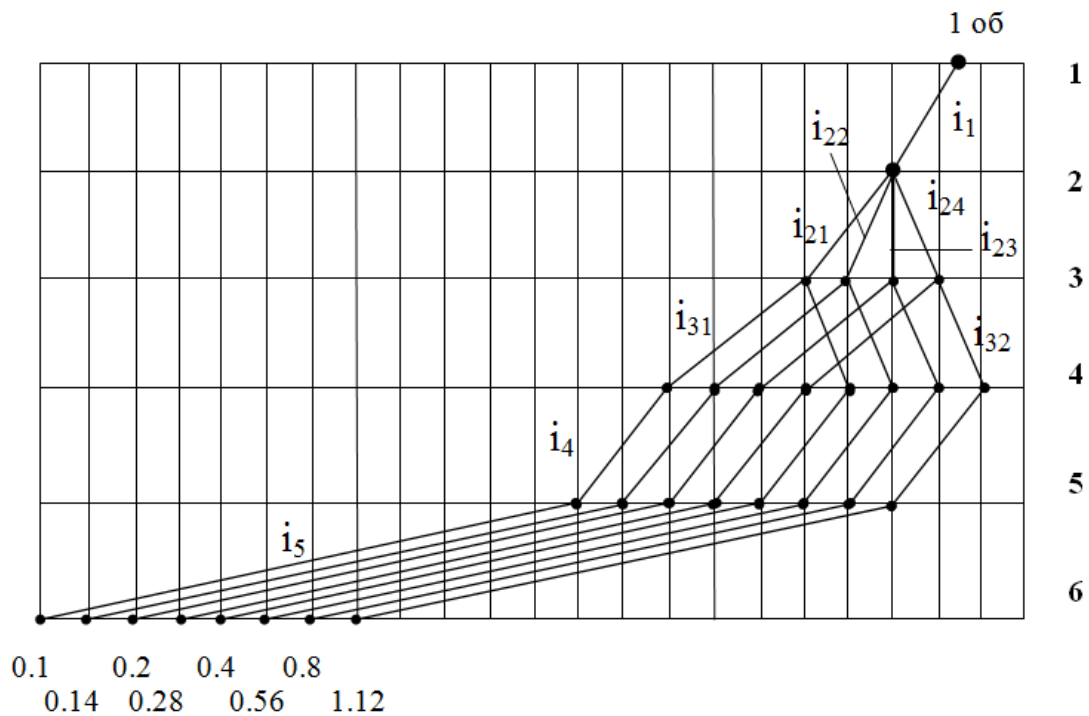


Рисунок 3.13 - Графік частот обертів приводу подач

За графіком частот обертання визначаємо значення передаточних відношень передач (табл. 3.4).

Таблиця 3.4. Передаточні відношення передач у приводі подач

i_1	i_{21}	i_{22}	i_{23}	i_{24}	i_{31}	i_{32}	i_4	i_5
$\varphi^{-1.41}$	φ^{-2}	φ^{-1}	φ^0	φ^1	φ^{-3}	φ^1	φ^{-2}	$\varphi^{-11.85}$
1/1.63	1/2	1/1.41	1.0	1.41	1/2.82	1.41	1/2	1/60

Значення передаточних відношень передач записуємо у виді звичайних дробів, так щоб видні були їхні передаточні числа. Це значно полегшує розрахунок чисел зубів зубчастих коліс.

Для розрахунку чисел зубів зубчастих коліс складаємо системи рівнянь для кожного механізму(групи передач), у які входять три види рівнянь:

1) значення передаточних відношень передач через відношення чисел зубів їх зубчастих коліс;

блоків: перший з чотирьох передач (четверний), а другий із двох (подвійний). Для скорочення числа зубчастих коліс і радіальних габаритних розмірів коробки подач ці механізми виконуємо однозв'язаними, з одним загальним зубчастим колесом. У приводах подач обов'язково вбудовуємо запобіжний пристрій, у якості якого приймаємо запобіжну кулачкову муфту і зв'язуємо її з ведучим колесом постійної передачі Z_{29}/Z_{30} .

Передача 1:

$$i_1 = Z_{16}/Z_{17} = 1/41, \text{ приймаємо } Z_{16} = 27, \text{ тоді } Z_{17} = 26 \cdot 1.41 = 44.$$

Групи передач 2 і 3:

Для цих передач складаємо загальну систему рівнянь, тому що вони зв'язані між собою (мають загальне зубчасте колесо). Попередньо вибираємо варіант зв'язування.

$$i_A \cdot i_B = \varphi^{Ra - Rb} = \varphi^{2 - 3} = \varphi^{-1}.$$

Такий добуток за графіком (рис. 3.21) виходить з передачами $i_A = i_{21} = \varphi^{-2}$ і $i_B = i_{32} = \varphi^1$. Але приймаємо зв'язаними передачі $i_{22} = \varphi^{-1}$ і i_{32} , тому що при цьому будуть менше радіальний розмір приводу (меншою буде сума зубів у третьому механізмі). Зв'язаним (загальним) буде колесо Z_{23} . Записуємо систему рівнянь для розрахунку чисел зубів цих механізмів.

Група передач 2:

$$i_{21} = Z_{18}/Z_{19} = 1/2; \quad i_{22} = Z_{22}/Z_{23} = 1/1.41; \quad i_{23} = Z_{20}/Z_{21} = 1.0; \quad i_{24} = Z_{24}/Z_{25} = 1.41.$$

$$Z_{18} + Z_{19} = Z_{20} + Z_{21}, \quad Z_{18} + Z_{19} = Z_{22} + Z_{23}, \quad Z_{18} + Z_{19} = Z_{24} + Z_{25}$$

Група передач 3:

$$i_{31} = Z_{27}/Z_{28} = 1/2.82, \quad i_{42} = Z_{23}/Z_{26} = 1.41, \quad Z_{27} + Z_{28} = Z_{23} + Z_{26},$$

Задаємося числом зубів найменшого колеса (Z_{18} і Z_{27}) у цих двох механізмах $Z_{18} = Z_{27} = 27$ і вирішуючи спільно систему рівнянь одержуємо:

$Z_{18}=24;$	$Z_{22}=30;$	$Z_{26}=30;$
$Z_{19}=48;$	$Z_{23}=42;$	$Z_{27}=19;$
$Z_{20}=36;$	$Z_{24}=42;$	$Z_{28}=53.$
$Z_{21}=36;$	$Z_{25}=30;$	

Передача 4:

$$i_4 = Z_{30}/Z_{31} = 1/2, \text{ приймаємо } Z_{30}=24, \text{ тоді } Z_{31}=24 \cdot 2=48.$$

Черв'ячна передача:

$$i_{чн} = Kч/Zчш = 1/60, \text{ приймаємо } Kч=1, \text{ тоді } Zчш=60.$$

Виконуємо перевірку точності кінематичного розрахунку. Для цього розраховуємо фактичні значення подач шпинделя, складаючи рівняння кінематичного балансу для кожної подачі за графіком частот обертання (рис. 3.21), записуючи в них фактичні значення передатних відносин передач через відносини чисел зубів. Рівняння кінематичного балансу в загальному виді записується:

$$S\phi_j = 1 \text{ про.шп.} \cdot i_1 \cdot i_{3k} \cdot i_{4m} \cdot i_5 \cdot i_{чн} \cdot T, \text{ мм/об} \quad (3.22)$$

де $k=1,2,3,4$ (номера передач у 2-м механізмі); $m=1,2$ (номера передач у 3-м механізмі); $T=109.96$ мм.

У рівнянні (3.22) обчислюємо попередньо постійну частину (позначивши її через C):

$$C = i_1 \cdot i_5 \cdot i_{чн} \cdot T = 27/44 \cdot 24/48 \cdot 1/60 \cdot 109.96 = 0.562$$

Тоді формула (3.22) приймає вид: $S\phi_j = 0.562 \cdot i_{3k} \cdot i_{4m}$. Розрахункові похибки подач визначаються по формулі:

$$\varepsilon_j = 100 \cdot (S\phi_j - S_{cmj}) / S_{cmj} \quad (3.23)$$

Похибка, що допускається, $[\varepsilon]$ залежить від знаменника ряду подач φ і визначається по залежності:

$$[\varepsilon] = 10 \cdot (\varphi - 1)\% \quad (3.24)$$

при $\varphi = 1.41$ $[\varepsilon] = 4.1\%$. Повинна виконуватися умова $|\varepsilon_j| < [\varepsilon]$.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 3.5.

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5. Результати оцінки точності кінематичного розрахунку

j	Включені передаточні відношення множних механізмів		S _{φj} мм/об	S _{сTj} мм/об	ε _j %		
	2- й	3 -й					
1	i ₂₁	24/48	i ₃₁		0.1001	0.100	0.13
2	i ₂₂	30/42		19/53	0.142	0.141	1.12
3	i ₂₃	36/36			0.196	0.200	-1.87
4	i ₂₄	42/30			0.283	0.280	1.18
5	i ₂₁	24/48	i ₃₂		0.398	0.400	-0.57
6	i ₂₂	30/42		42/30	0.562	0.560	0.41
7	i ₂₃	36/36			0.78	0.800	-2.56
8	i ₂₄	42/30			1.125	1.120	0.47

Як видно з результатів розрахунку найбільша похибка рівна 2.56%, вона не перевищує допустимої похибки, що задовольняє умові точності настроювання значень подач при експлуатації верстата.

3.3.2 Розрахунок приводу подач на міцність

У приводах подач верстатів розрахункові навантаження (крутні моменти) для силових розрахунків і розрахунків на міцність валів і механізмів визначаються по найбільш припустимому зусиллю стиску Q_{\max} на виконавчому механізмі (рейковій шестерні). Величина Q_{\max} була розрахована у пункті 3.2.1 (за формулою 3.8). $Q_{\max}=10000$ Н при свердлінні з найбільшим діаметром 20 мм і частоті обертання шпинделю 160 об/хв.

Розрахункові моменти M_j для інших механізмів, які передають рух від шпинделя верстата до рейкової шестерні визначаються за виразами:

$$M_{рш} = 2 \cdot Q_{\max} / (m \cdot Z_{рш}) \quad (3.25)$$

$$M_j = M_{рш} \cdot i_{oj} / \eta_{oj} \quad (3.26)$$

де $M_{рш}$ – крутний момент на шестерні рейки ; m – модуль рейкової шестерні; $Z_{рш}$ – число зубів рейкової шестерні; η_{oj} – коефіцієнт втрат потужності від вала рейкової шестерні до механізму, що розраховується, (сумарний ККД, як добуток

складових ККД механізмів); i_{oj} – сумарне передатне відношення від механізму, що розраховується, до рейкової шестірні.

З використанням пакету MathCad [18] проводимо розрахунок приводу подач на міцність. Розрахунок проведемо для рейкової передачі.

- *Розрахунок рейкової передачі*

Розрахунок виконуємо по методиці, яка наведена в [19].

Вихідні данні для розрахунку:

Кількість зубів рейкової шестерні – Z_{rs} , модуль – m , мм; максимальне тягове зусилля (крутова сила на шестерні) – Q_{max} , Н; границі частот обертання шестерні – n_{min} , n_{max} , об/хв; Розрахункова частота обертання – n_r , об/хв; СТ – ступінь точності передачі.

$$T_e := 6000 \text{ год.} \quad Z_{rs} := 14 \quad m := 2.5 \quad Q_{max} := 10000 \text{ Н}$$

$$CT := 8 \quad bw := 10 \cdot m \quad bw = 25 \quad \text{ширина шестерні, мм}$$

$$n_{min} := 0.14 \quad n_{max} := 20.4 \quad n_r := 1.637 \text{ об/хв}$$

Колова швидкість рейкової шестерні: V_{okr} , м/сек

$$V_{okr} := \frac{\pi \cdot m \cdot Z_{rs} \cdot n_{max}}{60 \cdot 1000}$$

$$V_{okr} = 0.037 \quad \text{м/сек}$$

Матеріал и допустимі напруження:

для сталі 40Х с закалкою ТВЧ:

$$HRC := 50 \quad \sigma_{vr} := 1000 \text{ МПа}$$

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Матеріал і допустимі напруження:

для сталі 40X с закалкою ТВЧ:

$$HRC := 50$$

$$\sigma_{vr} := 1000 \text{ МПа}$$

Допустимі напруження при згинанні зубів – σ_{fd} :

Для їх розрахунку визначаємо кількість циклів зміни напружень N_{fe} за строк експлуатації (верстат з наладкою працює з постійними режимами).
 N_{fo} – базова кількість циклів.

$$N_{fe} := 60 \cdot n_r \cdot T_e$$

$$N_{fe} = 5.893 \times 10^5$$

$$N_{fo} := 4 \cdot 10^6$$

Визначаємо інші необхідні дані: $K_b=1.8-2.0$ – коефіцієнт безпеки; K_s – коефіцієнт концентрації напруж зубів передачі (поверхова термічна обробка); K_{ser} – коефіцієнт, обліку шорсткості поверхонь зубів (шліфовані); K_{σ} – коефіцієнт режиму напруження; σ_1 – напруження при симетричному циклі (це має місце у проектуваному верстаті)

$$K_b := 1.8$$

$$K_{\sigma} := 1.2$$

$$\sigma_1 := 0.34 \cdot \sigma_{vr} + 80$$

$$\sigma_1 = 420 \text{ МПа}$$

$$K_{\sigma m} := \min \left(\sqrt[9]{\frac{N_{fo}}{N_{fe}}}, 1.5 \right)$$

$$K_{\sigma m} = 1.237$$

$$K_{ser} := 1.08$$

$$\sigma_{fd} := \frac{1.5 \cdot \sigma_1 \cdot K_{\sigma m} \cdot K_{ser}}{K_b \cdot K_{\sigma}}$$

$$\sigma_{fd} = 389.693 \text{ МПа}$$

Виконемо перевірку на витривалість при згинанні:

K_{kc} – коефіцієнт концентрації напруження;

K_d – коефіцієнт динамічності режиму напруження;

γ – коефіцієнт зношення (при 20% зношення $g_{ч15}$);

Y_F – коефіцієнт форми зубів

$$\Theta := 1.2 \quad \text{при } CT=8, \text{ симетричном положенні шестерні}$$

$$\gamma := 1.5$$

$$K_{kc} := 1.2 \cdot \Theta$$

$$K_{kc} = 1.44$$

$$K_d := 1$$

при $CT=8$, $V_{акг} < 10$ в/с, $H_{Впоб} > 350$

$$Y_F := 4.95$$

при $Z=14$ та коефіцієнті корезування $X=0.52$ [19, табл.3.7]

$$\sigma_f := \frac{Q_{max} \cdot K_{kc} \cdot K_d \cdot \gamma}{Y_F \cdot m \cdot b_w}$$

$$\sigma_f = 69.818$$

<

$$\sigma_{fd} = 389.693$$

Вимоги міцності рейкової передачі на згин виконуються !

+

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Психологічні причини нещасних випадків і травматизму

Проблема виробничого та побутового травматизму традиційно розглядається крізь призму інженерної безпеки, організації праці або технічних несправностей [19]. Однак статистика свідчить: від 60% до 90% нещасних випадків відбуваються не через поломку обладнання, а через так званий «людський фактор». Саме психологічні особливості працівника, його поточний стан, риси характеру, мотивація та сприйняття ризику, часто стають вирішальною ланкою в ланцюгу подій, що призводять до травми.

1. Основні психологічні детермінанти травматизму

Психологія безпеки праці виділяє три групи факторів, які підвищують ймовірність нещасного випадку.

1.1 Порухення психофізіологічних станів

Найчастіша причина – тимчасові зміни у функціонуванні психіки, які знижують здатність людини адекватно реагувати на небезпеку:

- Втома (стомлення). При тривалій роботі без відпочинку знижується увага, сповільнюються реакції, порушується координація рухів. Людина починає працювати «на автоматі», пропускаючи сигнали небезпеки.
- Монотонія. Однотипні повторювані дії притуплюють пильність. Виникає стан «оперативного спокою», при якому різка зміна ситуації застає людину зненацька.
- Стрес та емоційне напруження. У стані хронічного стресу увага зужується до однієї проблеми, а периферійне зорове поле ігнорується. Короткочасний гострий стрес може викликати «панічне гальмування» або імпульсивні хаотичні дії.
- Афективні стани (гнів, страх, ейфорія). У стані сильного гніву людина знецінює ризик. Ейфорія призводить до переоцінки своїх можливостей.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ластовецький			БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Окіпний					70	8
Реценз.						ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41		
Н. Контр.		Кобельник						
Зав. каф.		Крупа						

1.2 Психологічні властивості особистості

Деякі риси характеру є стійкими предикторами схильності до травм:

- Схильність до ризику (сенсорна спрага). Деяким людям бракує гострих відчуттів. Вони навмисно нехтують правилами (робота без каски, прискорення механізмів), щоб отримати дозу адреналіну.
- Імпульсивність. Нездатність зробити паузу для аналізу ситуації. «Спочатку зробив, потім подумав» — типова формула травми.
- Тривожність. Парадоксально, але високотривожні люди теж потрапляють у небезпечні ситуації через те, що їхні дії скуті, а увага розпорошена між безліччю страхів, що заважає виокремити реальну загрозу.
- Низька стресостійкість. У нестандартній ситуації такі люди «впадають у ступор» або роблять неправильні дії замість аварійних.

1.3 Мотиваційні та установчі фактори

Людина свідомо порушує правила безпеки, якщо її мотивація переважає страх покарання:

- Економія часу та зусиль. Психологічний принцип «найменшого опору». Надіти захисну маску довго, простіше пройти повз. Підняти вантаж краном складно, простіше штовхнути вручну.
- Ілюзія безкарності. Якщо раніше порушення не призводили до наслідків, формується звичка до небезпечної поведінки.
- Конформізм. «Всі ходять без касок, і я буду». Бажання бути «своїм» у колективі, де нехтування безпекою є нормою.

2. Психологічна класифікація причин.

Для системного аналізу виділяють три категорії порушень:

1. Порушення орієнтовної частини дії. Людина не знає, що таке правило існує (низька кваліфікація) або знає, але не вважає його важливим для даної ситуації.
2. Порушення виконавчої частини. Людина знає правила та розуміє небезпеку, але фізично або психічно не може їх виконати (наприклад, надто повільна реакція, мала сила м'язів через втому).

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

3. Порухення вольової регуляції. Людина знає і може виконати, але не виконує через свідоме небажання (мотиваційний конфлікт).

3. Синдром «схильності до нещасних випадків»

Психологи давно помітили, що деякі люди потрапляють у травматичні ситуації значно частіше за інших [20]. Це пов'язано з наявністю так званого «акцентуованого типу особистості»:

- Демонстративний тип. Працює на публіку, робить зайві ризиковані рухи («дивіться, як я можу»).
- Збудливий тип. Важко контролює імпульси, дратівливий, схильний до грубих порушень інструкцій.
- Застрагаючий тип. Схильний до ризику через завищену самооцінку («зо мною нічого не станеться»).

Важливо: наявність акцентуації не є вироком, але вимагає особливого підбору виду діяльності та посиленого контролю.

4. Практичні висновки та профілактика

Розуміння психологічних причин дозволяє змістити акцент у профілактиці травматизму:

1. Психодіагностика персоналу. Виявлення осіб з високою імпульсивністю, низькою стресостійкістю або схильністю до ризику ще на етапі найму. Їх не варто ставити на небезпечні ділянки.
2. Управління станами. Впровадження регламентованих перерв для боротьби з втомою, кімнат психологічного розвантаження, «динамічних пауз».
3. Мотивація безпеки. Заміна каральної системи (штрафи) на заохочувальну (премії за безаварійну роботу). Важливо сформувати внутрішнє переконання: «безпечно — це вигідно і зручно».
4. Тренінги. Не просто лекції, а відпрацювання дій у стресових умовах (вогневі тренування, дії при аварії), щоб подолати панічне гальмування.

Висновок

Нещасний випадок рідко буває «випадковим». Найчастіше це закономірний результат збігу несприятливого психічного стану (втома, стрес), особистісної

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

риси (імпульсивність) та помилкової мотивації («встигну проскочити»). Ефективна профілактика травматизму неможлива без роботи з психологічними установками працівників, створення культури безпеки, де дотримання правил є престижним, а не обтяжливим обов'язком. Лише інтегруючи технічні заходи із психологічним супроводом, можна знизити рівень травматизму до мінімального.

4.2. Заходи з техніки безпеки при виготовленні корпусних деталей

1. Загальні організаційні заходи

До виконання робіт з виготовлення корпусних деталей (на метало- чи деревообробних верстатах) допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли [21]:

- Медичний огляд (попередній та періодичний) відповідно до встановленого порядку.
- Спеціальне навчання з охорони праці та безпечних методів роботи.
- Інструктаж (вступний та первинний на робочому місці) з перевіркою знань.
- Професійний добір (за потреби, згідно з переліком робіт).

Роботодавець зобов'язаний:

- Забезпечити безпечні умови праці відповідно до нормативно-правових актів (наприклад, НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»).
- Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): спецодягом, спецвзуттям, рукавицями, захисними окулярами, респіраторами (залежно від матеріалу та операції).
- Встановити знаки безпеки для позначення небезпечних зон.

2. Вимоги до обладнання та робочого місця

2.1. До верстатів та пристроїв

- Металообробні верстати повинні відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 12.2.009:2007, а верстатні пристрої — ДСТУ ГОСТ 12.2.029:2007.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

- Усі струмопровідні частини обладнання мають бути ізольовані або огорожені. Металеві частини, які можуть опинитися під напругою, підлягають заземленню.
- Стаціонарні верстати встановлюються на міцних фундаментах, вивірюються, надійно закріплюються та фарбуються згідно з сигнальними кольорами.
- Передачі, розташовані поза корпусами верстатів, повинні мати суцільні огороження.

2.2. Захисні пристрої

- Огороження зони обробки: верстати обладнуються захисними екранами, зблокованими з пуском. При відкритому огороженні верстат не повинен запускатися.
- Огороження мають захищати працівника від вилітаючої стружки, розбризкування мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) та уламків інструменту.
- Для швидкісних верстатів (наприклад, шліфувальних з колом 60 м/с і вище) зону обробки закривають повністю.
- У токарних верстатах при обробці зі швидкістю різання більше 5 м/с товщина захисного пристрою збільшується вдвічі, а оглядові вікна виготовляють з багатошарового матеріалу товщиною не менше 10 мм.

2.3. Організація робочого місця [22].

- Робоче місце утримується в чистоті, не захаращується заготовками, інструментом, стружкою.
- Забезпечується достатнє місцеве та загальне освітлення.
- Проходи та проїзди не повинні бути заставлені.

3. Безпечні прийоми роботи за основними технологічними операціями

3.1. Різання заготовок

- Гільйотинні ножиці (для листового металу):
 - Обладнаються запобіжними пристроями, що унеможливають потрапляння пальців під ножі.
 - Мають механічні або гідравлічні притискачі для фіксації металу.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

- Огороджуються по колу спеціальними кожухами.
- Стрічкові та круглі пилки (для металу/деревини):
 - Огороджується лише робоча частина пилки, шків та інші рухомі елементи закриваються.
 - Використовуються пристосування (штовхачі, напрямні), що унеможливають травмування пальців.

3.2. Токарна обробка

- Патрони універсальних токарних верстатів повинні мати рухомі огороження.
- Різці встановлюються правильно заточені, без тріщин та надламів.
- Забороняється:
 - Гальмувати патрон рукою.
 - Працювати зі зношеним або несправним інструментом.
 - Здувати стружку стисненим повітрям (використовувати гачки, щітки).

3.3. Фрезерна та свердлильна обробка

- Задня частина шпинделя та кінець фрезерної оправки, що виступає, огороджуються знімними кожухами.
- Копіювальні фрезерні верстати обладнуються кінцевими вимикачами.
- На свердлильних верстатах заготовки надійно закріплюються в лещатах, кондукторах або на столі. Забороняється тримати деталь руками під час свердління.

3.4. Шліфувальні роботи

- Захисний кожух шліфувального круга повинен мати підвищену надійність кріплення (на випадок розриву круга).
- Прозір між краєм підручника та робочою поверхнею круга — не більше 3 мм.
- Забороняється працювати боковою поверхнею круга, якщо він не призначений для цього.

3.5. Термічна та зварювальна обробка

- Обладнання для зварювання повинно бути справним, кабелі ізольовані.
- Працівники забезпечуються масками зі світлофільтрами, рукавицями, фартухами з вогнестійкого матеріалу.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Місце зварювання огорожується ширмами з негорючого матеріалу.
- Забезпечується вентиляція для видалення шкідливих газів та аерозолів.

3.6. Свердління отворів (під кріплення)

- Для металевих корпусів: використовувати кондуктори, затискачі.
- Для дерев'яних/плитних матеріалів:
 - Свердлити строго перпендикулярно, на низьких обертах, уникаючи сколів.
 - Використовувати підкладну дошку для запобігання пошкодженню столу та інструменту.
 - Не видаляти стружку руками — використовувати щітку.

4. Вимоги до інструменту та матеріалів

- Різальний інструмент (свердла, фрези, різці, пилки) повинен бути справним, гострим, без тріщин, надламів та задирок.
- Заготовки масою понад 16 кг повинні мати пристрої для безпечного підйому (отвори, рим-болти, припливи).
- Для установки заготовок масою понад 8 кг (або інструменту понад 20 кг) верстати обладнують індивідуальними підйомними пристроями, які утримують вантаж навіть при зникненні енергії.
- Для заготовок понад 250 кг використовуються внутрішньоцехові підйомні засоби (крани, талі).

5. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Залежно від операції працівник повинен використовувати:

- Захисні окуляри або щиток (обов'язково при різанні, точінні, шліфуванні, зварюванні).
- Рукавиці (при роботі з гострими кромками, гарячими деталями; але не можна в рукавицях працювати на обертових верстатах — токарних, свердлильних, фрезерних — через ризик захоплення).
- Респіратор (при шліфуванні, зварюванні, обробці композитних/деревних матеріалів, роботі з рідинами).
- Навушники або беруші (при роботі з ударним інструментом, гучними верстатами).

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Спецодяг (комбінезон або халат, що не має звисаючих частин, застібнутий).

6. Електробезпека та пожежна безпека

- Всі верстати повинні бути надійно заземлені.

- Місця підключення переносних електроприймачів мають написи про напругу та вид струму.

- Розподільчі щити, рубильники закриті та опломбовані.

- На робочому місці забороняється:

- Користуватися несправними електроінструментами.

- Ремонтувати електрообладнання без зняття напруги.

- Забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників, ящиків з піском).

- Легкозаймисті рідини (масла, розчинники) зберігати в закритій металевій тарі в спеціально відведених місцях.

7. Відповідальність

Посадові особи та працівники несуть відповідальність за порушення вимог законодавства про охорону праці згідно з чинним законодавством України.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено детальний аналіз технологічного процесу обробки деталі "Корпус редуктора ОПВ-2000", а також огляд конструкцій універсальних верстатів.

При виконанні кваліфікаційної роботи запропоновано вдосконалити існуючий технологічний процес обробки деталі "Корпус редуктора ОПВ-2000", впроваджено у структуру технологічного процесу універсальний верстат; проаналізовано схеми технологічного налагодження для обробки окремих поверхонь деталі; проведено кінематичний розрахунок при конструюванні коробки швидкостей у ланцюгу приводу головного руху.

У кваліфікаційній роботі слід виокремити наступні результати:

- виконано аналіз призначення та технічних вимог до деталі "Корпус редуктора ОПВ-2000", проведено оцінку її технологічності;
- виконано аналіз базового технологічного процесу, з'ясовано його проблемні моменти з точки зору використання універсального обладнання;
- розроблено нову структуру технологічного процесу, передбачено заміну високовартісного багатоопераційного обладнання з ЧПК на універсальні верстати;
- розраховано режими різання по операціях;
- розроблено конструкцію коробки швидкостей вертикально-свердлильного верстата для забезпечення ефективності процесу механічної обробки.
- виконано кінематичний розрахунок елементів у приводі головного руху універсального вертикально-свердлильного верстату;
- опрацьовано заходи з основ охорони праці та БЖД при роботі на верстатному обладнанні.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВИСНОВКИ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Ластовецький</i>						78	1
<i>Перевірив</i>	<i>Шанайда В.В.</i>							
<i>Рецензент</i>								
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Крупа В.В.</i>				ТНТУ, ФМТ каф. ВІ, гр. МВ-41			

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
2. Божко Т. Є. Технологічний процес обробки корпусних деталей: конспект лекцій. Луцьк: ЛНТУ, 2021. 86 с.
3. Механоскладальне виробництво: технологічні можливості / АТ «Укренергомашини». URL: <https://ukrenergymachines.com/clients/services/mechanical-assembly-production> (дата звернення: 02.04.2026).
4. Медведєв М. Г., Ковальов В. Д. Технологія машинобудування : підручник. Харків: НТУ «ХП», 2019. 412 с.
5. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб.: К.: НТУУ «КП», 2007. 60 с.
6. Якимов А. В. Оптимізація технологічних процесів механічної обробки. Одеса: ОНПУ, 2018. 196 с.
7. Кравців С. С., Панченко О. В. Сучасні обробні центри з ЧПК у машинобудуванні. *Вісник машинобудування*. 2022. № 4. С. 28–35.
8. Б. М. Гевко, А. В. Матвійчук, А. М.Артюхов, А. І. Пік, А. В. Гагалюк, Р. І. Лотоцький. Технологія обробки на верстатах з ЧПК. Тернопіль: Крок, 2014. 131 с.
9. Орищук Р.М., Чернявський І.В., Шанайда В.В. Дослідження точності позиціювання деталей різної геометричної форми у верстатних механізмах кріплення і силової фіксації. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 25–26 листопада 2020 року) / редкол.: В. О. Залоза, О. В. Івченко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 183 с. - С.63-66.*

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ					
Розроб.		Ластовецький						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Шанайда						79	3	
Реценз.								ТНТУ, ФМТ, каф. ВІ, гр. МВ-41		
Н. Контр.		Кобельник								
Зав. каф.		Крупа								

10. Кривий П.Д. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Крупа В.В., Мимрик Н.П. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – № 3 (47). – / Галузь науки: технічні - С.199 - 206.
11. 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. – С. 252.
12. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищеної якості згортних втулок : монографія / Кривий П. Д., Сенік А. А. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 232 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/27951>
13. 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.
14. Буц Б.Д., Приходько В.Є., Ткачов Ю.В.. Розрахунок режимів різання металів: Навч. посіб. – Д.: РВВ ДНУ, 2025. – 76 с.
15. Металорізальні верстати. Кінематичний аналіз. Практикум до виконання практичних та лабораторних робіт [Електронний ресурс]: Навч. посібник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка» та 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи» / О.В. Шевченко, А.Ю. Беляєва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,5 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 86 с.
16. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні: зб. наук. праць*.: Житомир: ЖДТУ, 2010. Вип. 8. – С. 99–108.

					КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Дослідження розсіювання величин подач токарних верстатів в імовірнісному аспекті / В. В. Крупа та ін. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. № 4(83). С. 16–28. URL: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.4.2>
18. Шанайда В. В. *Пакет MathCAD в інженерних розрахунках*. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.
19. Пістун І.П., Кочубей В.І. *Практикум з безпеки життєдіяльності*. Підручник. Вид-во Університетська книга, 2023. 560 с.
20. Атаманчук П.С. *Безпека життєдіяльності: навч. посіб.* Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.
21. Андрейчук Н.І. *Охорона праці: навч. посіб.* / Н.І. Андрейчук, Ю.В. Кіт, С.В. Шибанов, О.В. Шерстньова. Львів: Вид-во Львівська політехніка, 2021. 276 с.
22. Бедрій Я.І. *Основи охорони праці: навч. посіб.* 4-е вид. перероб. і доп. Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2018. 240 с.

					<i>КРБ 22-042.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81