

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет робототехніки та штучного інтелекту

(повне найменування факультету)

Кафедра робототехніки

(повна найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА
ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА КОРПУСУ
ПІДП'ЯТНИКА КАРУСЕЛЬНОГО ВЕРСТАТА

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Металообробне обладнання та
роботизовані виробничі системи»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМ(МОРВС)з-42
Ульданова Каміла

(підпис)

Керівник:
д.т.н., професор
Марчук Віктор Іванович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» _____ 2026 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Придальний Борис Іванович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Транспорту та механічної інженерії

Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: «Металообробне обладнання
та роботизовані виробничі системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Р. РЕДЬКО

“ _____ ” _____ 2026

р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ульдановій Камілі
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва корпусу під'ятника карусельного верстата*

Керівник роботи: *Марчук Віктор Іванович, д.т.н., професор,*

затверджена наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 р., № 962/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» червня 2026

р.

3. Вихідні дані до роботи: Конструкторсько-технологічна документація, відгуки підприємства про роботу обладнання, креслення деталі, річна програма випуску, базовий технологічний процес, нормативні дані

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити)

Вступ. 1. Загальний розділ, 2. Технологічний розділ, Конструкторський розділ, Охорона праці та цивільна безпека

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 3.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	<i>Аналітичний розділ</i>	<i>01.04.2026</i>	
2.	<i>Технологічний розділ</i>	<i>28.04.2026</i>	
3.	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>05.05.2026</i>	
4.	<i>Охорона праці та цивільна безпека</i>	<i>20.05.2026</i>	
5.	<i>Оформлення графічної частини та презентації</i>	<i>30.05.2026</i>	
6.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>		
7.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>06.06.2026</i>	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Ульданова К.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Марчук В.І.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ульданова К. Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва корпусу підп'ятника карусельного верстата. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літературних джерел, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи, затвердженої кафедрою).

Робота включає в себе загальний розділ, технологічну і конструкторську частини, а також питання охорони праці. В технологічній частині проекту подані матеріали та розрахунки, пов'язані з описом та відпрацюванням виробу на технологічність, розробкою маршрутної та операційної технології оброблення деталі корпус, вибором методу виготовлення заготовки, підбором верстатного обладнання з ЧПУ з різальним інструментом, розрахунком режимів різання та нормуванням робіт.

В конструкторському розділі спроектовано спеціальне верстатне пристосування із проведеними розрахунками сил затиску заготовки, елементів пристосування на міцність та точність.

У розділі охорона праці проаналізовано умови праці на машинобудівних підприємствах, виділено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Запропоновано основні інженерно-технічні заходи для забезпечення безпечних умов праці.

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, корпус, 3D модель, режими різання, технологічне оснащення, верстатне пристосування, HAAS.

ABSTRACT

ULDANOVA K. Development of the structure of the drive of the main movement of the vertical drilling machine. Manuscript.

Bachelor's qualification work of EP «Applied Mechanics» specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, 4 sections, conclusions, a list of literature sources, appendices (according to the structure of the qualification work approved by the department).

The work includes a general section, technological and design parts, as well as labor protection issues. The technological part of the project presents materials and calculations related to the description and testing of the product for manufacturability, the development of routing and operational technology for processing the body part, the choice of the method of manufacturing the workpiece, the sub-bridge of CNC machine tool equipment with a cutting tool, the calculation of cutting modes and the standardization of work.

In the design section, a special machine tool fixture is designed with calculations of the workpiece clamping forces, fixture elements for strength and accuracy.

In the labor protection section, working conditions at machine-building enterprises are analyzed, the main dangerous and harmful production factors are identified. The main engineering and technical measures are proposed to ensure safe working conditions.

Keywords: technological process, machining, workpiece, body, 3D model, cutting modes, technological equipment, machine tool attachment, HAAS

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1. Службове призначення деталі	9
1.2. Опис конструкції та роботи механізму регулювання підп'ятника...	11
1.3. Аналіз поверхонь деталі та розрахунок розмірних ланцюгів.....	13
1.4. Аналіз технологічності механізму регулювання та самого корпусу підп'ятника	16
1.5. Постановка задач роботи.....	19
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	21
2.1. Раціональний вибір методу отримання заготовки.....	21
2.2. Обґрунтування технологічного процесу механічної обробки деталі	23
2.3. Вибір та обґрунтування технологічних баз.....	26
2.4. Встановлення послідовності обробки поверхонь.....	29
2.5. Розробка та обґрунтування маршруту обробки.....	30
2.6. Визначення режимів різання.....	39
2.7. Нормування технологічного процесу.....	42
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	44
3.1. Проектування верстатного пристосування.....	44
3.2. Розробка конструкції та опис роботи технологічного оснащення...	45
3.3. Розрахунок сил затиску заготовки.....	46
3.4. Розрахунок елементів пристосування на міцність.....	50
3.5. Розрахунок пристосування на точність.....	51
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА.....	53
4.1. Характеристика умов праці на підприємствах машинобудівної галузі: небезпечні і шкідливі виробничі фактори.....	53
4.2. Завдання системи цивільного захисту на підприємстві.....	55

4.3. Характеристика машинобудівного підприємства як джерела техногенної небезпеки.....	57
4.4. Інженерно-технічні заходи забезпечення техногенної безпеки.....	58
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	62
ДОДАТКИ	65

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудівної галузі характеризується підвищенням вимог до якості продукції, точності виготовлення деталей, продуктивності виробничих процесів та ефективності використання ресурсів. У цих умовах особливого значення набуває конструкторсько-технологічна підготовка виробництва, яка є важливим етапом створення конкурентоспроможної продукції та забезпечення стабільної роботи промислових підприємств.

Одним із ключових напрямів важкого машинобудування є виробництво металорізальних верстатів, зокрема карусельних верстатів, які широко застосовуються для обробки великогабаритних деталей складної форми. Надійність і точність роботи таких верстатів значною мірою залежать від якості виготовлення їх основних вузлів і деталей. До відповідальних елементів конструкції належить корпус підп'ятника, який забезпечує сприйняття та передачу навантажень, що виникають під час роботи обладнання, а також впливає на довговічність і точність функціонування механізму.

Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва корпусу підп'ятника карусельного верстата передбачає розроблення та вдосконалення конструктивних рішень, вибір раціональних методів отримання заготовки, проєктування технологічного процесу механічної обробки, підбір необхідного обладнання, інструментів і технологічного оснащення. Від правильності прийнятих рішень залежить не лише якість готової деталі, а й економічна ефективність виробництва загалом.

Проаналізувавши базовий технологічний процес виготовлення корпусу підп'ятника на підприємстві, можна зробити висновок, що його необхідно змінити, використовуючи прогресивні методи обробки. Технічне оснащення

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також необхідно механізувати для полегшення праці робітників, а по можливості автоматизувати процес.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталей складної конфігурації, скороченням виробничих витрат, забезпеченням високої точності обробки та конкурентоспроможності машинобудівної продукції. Впровадження сучасних методів проєктування та технологічної підготовки дозволяє оптимізувати виробничі процеси та підвищити якість виготовлення відповідальних деталей у верстатобудуванні.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Службове призначення деталі

Задана деталь – корпус підп’ятника карусельного верстата, 3-D модель якого представлена на рисунку 1.1. та зроблена за допомогою спеціалізованого програмного CAD/CAM/CAE середовища SolidWorks [8]. Корпус призначений для базування складальних одиниць в верстаті та забезпечення постійної точності відносного розташування деталей, за допомогою яких відбувається регулювання висоти підп’ятника карусельного верстата.



Рисунок 1.1 – 3-D модель корпусу підп’ятника карусельного верстата

Міцність та жорсткість корпусу забезпечується механічними властивостями вихідного матеріалу, конфігурацією деталі та габаритними розмірами.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Матеріал деталі – СЧ18 та регламентується національним стандартом ДСТУ 8833:2019 «Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови».

Хімічний склад матеріалу вказано у таблиці 1.1, а фізико-механічні властивості матеріалу наведено у таблиці 1.2. згідно з [9].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад матеріалу СЧ18

Матеріал	Хімічні елементи, %				
	C	Si	Mn	P	S
СЧ18	3,4-3,6	1,9 – 2,3	0,5 - 0.7	≤0,2	≤0,15

Таблиця 1.2 – фізико-механічні властивості матеріалу СЧ18

Матеріал	ρ , кг/м ³	σ_T , МПа	σ_B , МПа	НВ	E, МПа
3,4-3,6	7200,0	80,0	300,0	180,0	80000

Для виготовлення корпусу обрано сірий чавун, який характеризується високими ливарними властивостями та незначною лінійною усадкою (лише близько 1,1 %). Завдяки цим характеристикам отримання заготовки доцільно здійснювати методом лиття, що забезпечує необхідну точність форми та економічність виробництва.

Якість поверхні виливка повинна відповідати встановленим технічним вимогам [5] – на поверхні не допускається наявність тріщин, пористості та інших дефектів, які можуть негативно впливати на міцність і надійність деталі. Конструкція корпусу має відповідати вимогам безпеки праці [11] та не мати гострих кромek, кутів або виступів, що можуть створювати ризик травмування персоналу під час експлуатації та обслуговування.

Нормальна робота корпусу забезпечується за умов експлуатації при температурі навколишнього середовища $20 \pm 5^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря $60 \pm 10\%$. Для захисту від корозії зовнішні механічно необроблені

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

поверхні корпусу покриваються нітроемаллю чорного кольору відповідно до вимог [10].

1.2. Опис конструкції та роботи механізму регулювання підп'ятника

Механізм регулювання підп'ятника використовується для зміни його положення висоти на карусельному верстаті. Він монтується на карусельний верстат 1531М, який представлено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд карусельного верстата 1531М

Механізм регулювання підп'ятника наведено на рисунку 1.3. Передача обертання від конічної шестерні 10 через шестерню 9 здійснюється на гвинт 6, який переміщує клин 5. Клин, рухаючись у пазу корпусу 2, змінює положення опори 4 зі шпинделем 3 в осьовому напрямку, забезпечуючи регулювання висоти підп'ятника карусельного верстата. Корпус 2 кріпиться до планшайби верстата за допомогою болтів 14.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Для змащування підшипників ковзання рекомендується застосовувати пластичні (консистентні) мастила [24]. Це зазвичай (солідол, літол, кальцієві або літієві мастила). Використовуються при низьких і середніх швидкостях, але високих навантаженнях. Вони добре утримуються у вузлі тертя і

захищають від бруду. Змащування виконується через прес-маслянки за допомогою шприца з періодичністю кожні 700 годин роботи. Зовнішні поверхні, що не підлягають механічній обробці, повинні бути покриті атмосферостійкою чорною нітроемаллю, тоді як оброблені поверхні деталей необхідно піддавати оксидуванню. На деталях не допускаються тріщини, пори, раковини та інші виробничі дефекти [13]. Виготовлення механізму має виключати наявність задирок і виступів, які можуть становити небезпеку для обслуговуючого персоналу. Ресурс роботи механізму становить 17 000 годин машинного часу [15].

1.3. Аналіз поверхонь деталі та розрахунок розмірних ланцюгів

Ескіз корпусу із позначенням поверхонь наведено на рисунку 1.4. Поверхні 2 і 3 призначені для базування корпусу у складальній одиниці та є основними базами. Поверхні 1 та 4-28 виконують допоміжну базуючу функцію і визначають положення деталей, що кріпляться до корпусу.

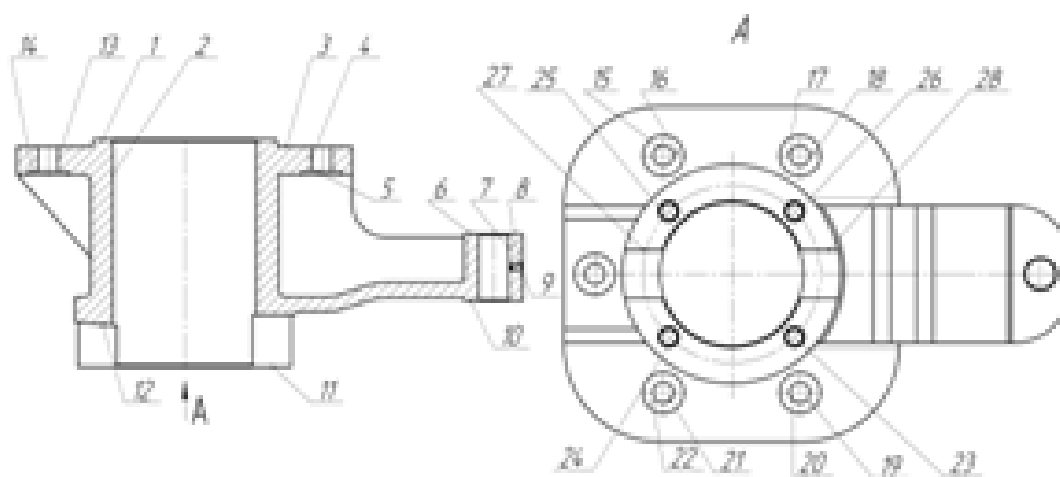


Рисунок 1.4 – Ескіз корпусу підп'ятника з позначеннями оброблюваних поверхонь

Поверхні 2, 7, 27 і 28 є виконавчими; за їх допомогою корпус забезпечує своє службове призначення — підтримання постійної точності

взаємного розташування деталей, які беруть участь у регулюванні висоти підп'ятника карусельного верстата. Усі інші, не зазначені поверхні, є вільними поверхнями, які не контактують з елементами інших деталей складальної одиниці, але необхідні для формування завершеної геометрії деталі. Виходячи зі службового призначення деталі та вузла регулювання, встановлюємо такі норми точності:

1. Необхідно забезпечити гарантований бічний зазор у зубчастій передачі на рівні 0,12 мм. Надмірний зазор може призвести до порушення нормального зачеплення та унеможливлення передачі обертання, а також до ймовірного руйнування зубців. Недостатній зазор, у свою чергу, спричиняє підвищене зношування бічних поверхонь зубців у процесі експлуатації або заклинювання передачі.

2. Слід забезпечити розмір від торця фланця до осі валу в межах $A\Delta = 108 \pm 0,07$ мм (рисунок 1.5). Недотримання цього параметра призводить до зміщення плями контакту внаслідок виходу гарантованого бокового зазору за межі допуску, що викликає передчасне зношування шестерень і можливий їх вихід з ладу.

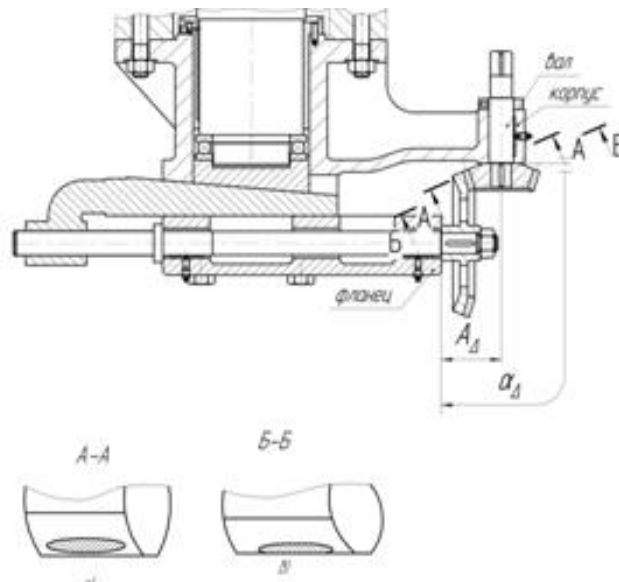


Рисунок 1.5 – Вплив не витримування відстані від торця фланця до осі корпусу ($A\Delta$) та перпендикулярності торця бобишки корпусу до торця фланця ($\alpha\Delta$) на точність:

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

3. Необхідно забезпечити перпендикулярність торця бобишки корпусу до торця фланця з допуском $\alpha\Delta = 0,05$ мм (рисунк 1.6). Порушення цієї вимоги також викликає зміщення плями контакту через вихід бічного зазору за допустимі межі, що призводить до прискореного зносу зубчастих коліс і виходу механізму з ладу [19].

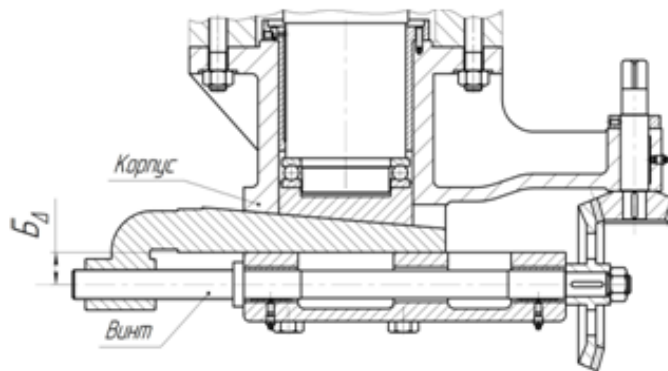


Рисунок 1.6 – Вплив відстані від основи корпусу до осі на точність

4. Забезпечити відстань від основи корпусу до осі гвинта в межах $B_{\Delta} = 50^{+0,1}$ мм. Недотримання цього параметра може призвести або до неможливості встановлення клина під час складання вузла, або до заклинювання клина під час експлуатації механізму.

5. Забезпечити паралельність осі гвинта до основи корпусу не більше $\beta_{\Delta}=0,04$ мм. Невиконання цієї умови також може призвести до заклинювання клину в процесі експлуатації механізму.

Відповідно до завдання, річна програма випуску деталі «Корпус підп'ятника» карусельного верстату становить 540 шт/рік, а коефіцієнт закріплення операції (K_{30}) дорівнює 18. Визначимо розмір партії виробів для запуску у виробництво згідно [5]:

$$N_p = \frac{N}{n} = \frac{540}{12} = 45 \text{ штук,}$$

де, N – річна програма випуску виробів, шт;

n – періодичність запуску партії деталей (кількість місяців у році).

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.4. Аналіз технологічності механізму регулювання та самого корпусу підп'ятника

Технологічність деталі відповідно до ДСТУ 2974-95 «Технологічне підготування виробництва. Основні терміни та визначення» – це сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають її пристосованість до забезпечення мінімальних витрат під час виготовлення, експлуатації та ремонту при заданих показниках якості, обсязі випуску та умовах виконання робіт [14].

Вихідне складальне креслення механізму регулювання підп'ятника є нетехнологічним через такі недоліки: не повністю зазначені посадки з'єднань; відсутні дані щодо маси виробу та його складових частин. У технічних умовах також не наведено такі відомості: допустимі навантаження під час роботи; інформація про мастильні матеріали; значення моментів затягування різьбових з'єднань. Разом з тим механізм регулювання є технологічною, оскільки забезпечує: простоту обслуговування та догляду під час експлуатації; відсутність додаткових механічних операцій під час складання; короткі розмірні ланцюги; високий рівень взаємозамінності деталей; наявність зручних технологічних баз для складання.

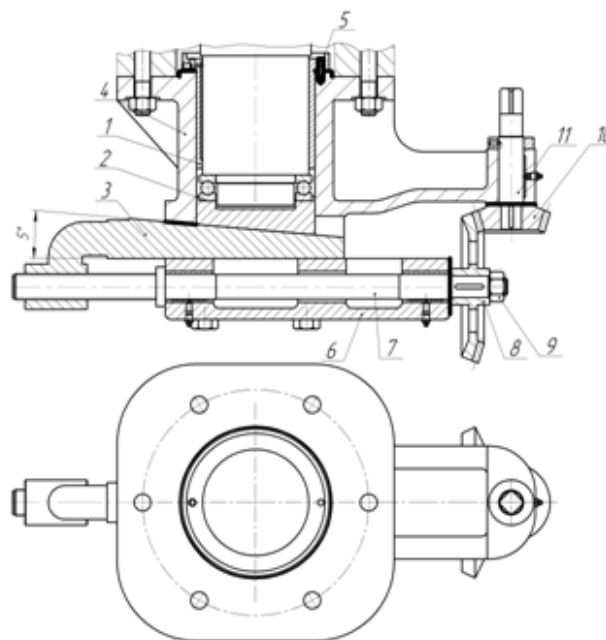


Рисунок 1.7 – Нетехнологічна конструкція механізму регулювання

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Виконаємо детальний аналіз конструкції складальної одиниці відповідно до [3]. Нетехнологічна конструкція наведена на рисунку 1.7 Нетехнологічні елементи конструкції виділені потовщеними лініями.

Оскільки втулка 1 встановлюється з натягом за посадкою Н7/р6, необхідність у гвинті 5, який фіксує втулку 1 від провертання, відпадає. Крім того, під час запресування технологічно складно сумістити різьбовий отвір корпусу 4 з отвором втулки 1. У зв'язку з цим доцільно виключити гвинт 5 та відповідний різьбовий отвір у корпусі. Нетехнологічним також є виконання упору втулки 1 в буртик корпусу 3. Така конструкція буртика передбачає або токарну обробку торця корпусу, що є ускладненим процесом з огляду на масу деталі майже у 150 кг і необхідність застосування спеціального обладнання, або фрезерування по контуру, що є малоефективним і потребує використання верстатів із ЧПУ. У зв'язку з цим доцільно відмовитися від даного буртика (рисунок 1.8).

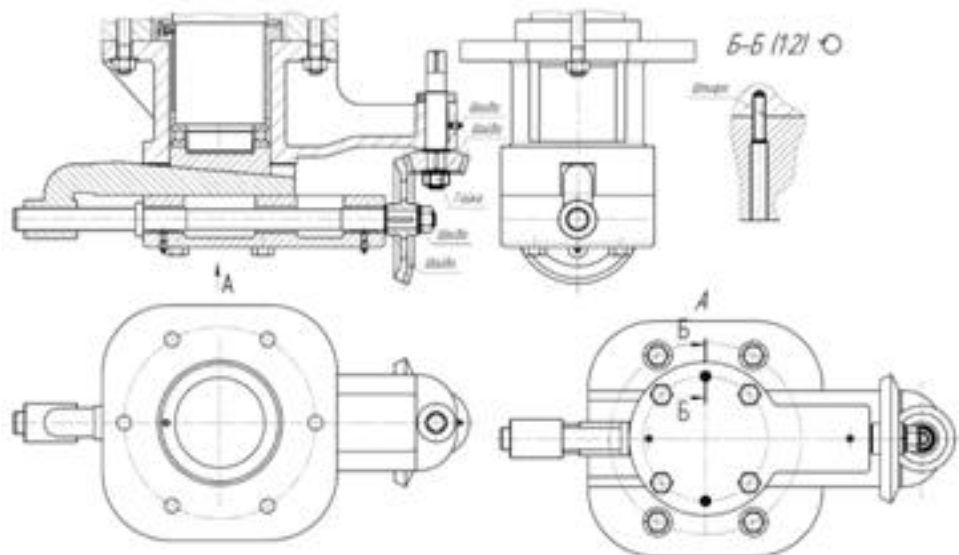


Рисунок 1.8 – Технологічна конструкція механізму регулювання

Нетехнологічним є виконання паза корпусу 4 під кутом 5°, оскільки така конструкція потребує застосування спеціального інструменту – протяжки. Конічна форма паза не має конструктивного сенсу, адже для

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

забезпечення крайнього положення клина 3 у механізмі достатньо його контакту з корпусом 4 в одній точці. Контакт по площині потребує точної та дорогої обробки деталей складальної одиниці, що ускладнює виробництво.

Технологічним буде зробити наскрізний паз у корпусі однієї глибини, що спростить механічну обробку корпусу підп'ятника карусельного верстату.

Загалом після запропонованих конструктивних змін даний механізм став технологічним.

У зв'язку зі зміною конструкції механізму регулювання підп'ятника було змінено і саму конструкцію корпусу (рисунок 1.9). Причини внесених змін у конструкцію корпусу детально описані вище.

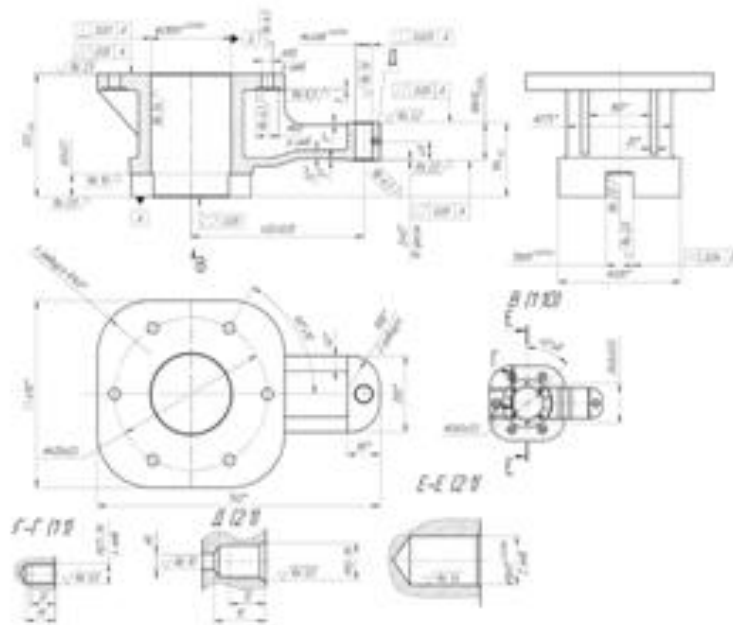


Рисунок 1.9 – Креслення корпусу підп'ятника карусельного верстату

Деталь корпус підп'ятника характеризується високим рівнем технологічності [5] завдяки таким особливостям: відносно проста конструкція та наявність поверхонь, зручних для базування і надійного закріплення під час установлення на верстаті; вільний доступ до всіх поверхонь для механічної обробки та проведення безпосередніх вимірювань, а також відсутність складних профілів і контурів оброблюваних поверхонь;

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

матеріал заготовки – сірий чавун СЧ20, який має хороші ливарні властивості, що забезпечує якісне виготовлення вихідної заготовки. Крім того, матеріал добре піддається механічній обробці, що дозволяє застосовувати традиційні технологічні методи виготовлення деталей. Достатня жорсткість конструкції створює умови для використання високопродуктивних способів механічної обробки.

Кількісна оцінка технологічності конструкції здійснюється за допомогою комплексного показника:

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i},$$

Враховавши відповідні коефіцієнти (кількість поверхонь деталі, оброблюваних різанням; вимоги щодо точності форми та взаємного розташування поверхонь, кількість видів механічної обробки і т.д.) згідно [16], отримаємо:

$$K_3 = 0,25 \cdot (0,8 + 0,6 + 0,9 + 0,55) = 0,713$$

Комплексний показник технологічності K_T має бути більшим або рівним нормативному показнику технологічності $K_{HT} = 0,65$.

$$K_T = \frac{1,0 \cdot 0,8 + 0,713 \cdot 0,7 + 0,65 \cdot 0,6 + 0,85 \cdot 0,7 + 0,75 \cdot 1,0}{0,8 + 0,7 + 0,6 + 0,7 + 1,0} = 0,80$$

На основі проведеного аналізу технологічності корпусу підп'ятника можна зробити якісну оцінку її конструкції – деталь вважається технологічною.

1.5. Постановка задач роботи

На основі виконаного загального розділу, для досягнення поставленої мети, яка полягає в розробленні конструкторсько-технологічної підготовки виробництва корпусу підп'ятника карусельного верстата, необхідно

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вирішити комплекс взаємопов'язаних задач, спрямованих на підвищення технологічності конструкції, забезпечення необхідної точності виготовлення та ефективності виробництва. У роботі передбачається виконання наступних задач:

- розробити маршрутний та операційний технологічний процес виготовлення корпусу підп'ятника;
- виконати розрахунок припусків, режимів різання та норм часу для основних операцій механічної обробки.
- провести розрахунок розмірних ланцюгів і визначити вимоги до точності виготовлення та взаємного розташування поверхонь деталі;
- спроектувати фрезерне верстатне пристосування для забезпечення необхідної точності та продуктивності обробки заданих поверхонь корпусу підп'ятника.
- обґрунтувати запропоновані конструкторські та технологічні рішення.
- виконати розділ з охорони та безпеки праці.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Раціональний вибір методу отримання заготовки

Вибір початкової заготовки належить до найбільш відповідальних етапів розроблення технологічного процесу. Спосіб виготовлення заготовки впливає на її точність і якість, а отже, визначає обсяг подальшої механічної обробки [19]. Від цього залежить кількість технологічних переходів і операцій, необхідних для отримання готового виробу. Під час вибору заготовки доцільно забезпечити високий коефіцієнт використання матеріалу, максимально наблизивши її конфігурацію та розміри до параметрів готової деталі за умови мінімальних загальних витрат на виготовлення.

Технологія одержання заготовок для машинобудівних деталей визначається їхнім функціональним призначенням, конструктивними особливостями, властивостями матеріалу, вимогами технічної документації, обсягом виробництва та економічною ефективністю. Процес вибору заготовки включає визначення методу її виготовлення, призначення припусків для кожної оброблюваної поверхні, розрахунок необхідних розмірів і встановлення допустимих відхилень.

З урахуванням того, що деталь виготовляється із сірого чавуну марки СЧ20 відповідно до ДСТУ [11], найбільш доцільним і фактично єдиним способом отримання заготовки є лиття. Беручи до уваги програму випуску, геометричні параметри та розміри корпусної деталі, заготовку можна виготовляти як литтям у піщані форми, так і шляхом заливання металу в кокіль.

Однак використання кокіля є економічно невиправданим через значні розміри та масу заготовки, що становить 160 кг. Додатково слід враховувати явище вибілювання сірого чавуну під час лиття в металеві форми. Це

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

негативно позначається на фізичних характеристиках матеріалу, зокрема підвищує твердість поверхневого шару, а також спричиняє неоднорідність хімічного складу виливка. У результаті можливе руйнування або відшаровування вибіленої поверхні.

З огляду на великі габарити деталі та те, що значна частина її поверхонь не підлягає механічній обробці, найбільш раціональним рішенням є виготовлення заготовки методом лиття у сухі піщано-глиняні форми. Формування здійснюється машинним способом із механізованим вилученням модельної оснастки.

Відповідно до вимог ДСТУ [11] для лиття у піщано-глиняні форми із застосуванням високоміцних сумішей (понад 160 кПа) орієнтовно встановлюються такі показники:

- клас розмірної точності виливків від 7 до 12;
- ступінь точності поверхні – 10 - 17 квалітет,
- шорсткість поверхні становить $Ra = 40$ мкм.

Виконаємо проектування виливка деталі «Корпус підп'ятника». Результатом проведеної роботи є ескіз виливка, наведений на рисунку 2.1. Контури та розміри готової деталі на кресленні позначені тонкими лініями для наочного порівняння з параметрами заготовки.

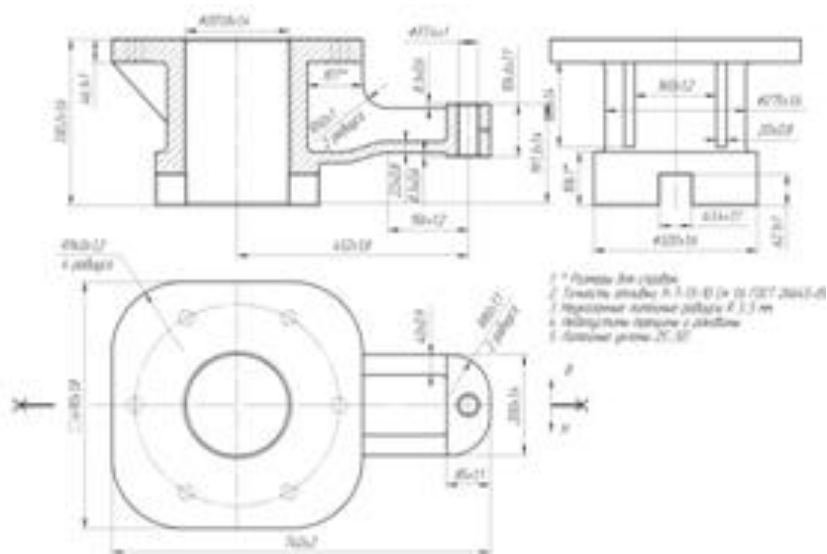


Рисунок 2.1 – Креслення заготовки

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2.2. Обґрунтування технологічного процесу механічної обробки деталі

Враховуючи функціональне призначення корпусу та результати аналізу розмірних ланцюгів, можна визначити основні взаємозв'язки між поверхнями деталі, яка наведена на рисунку 2.2.

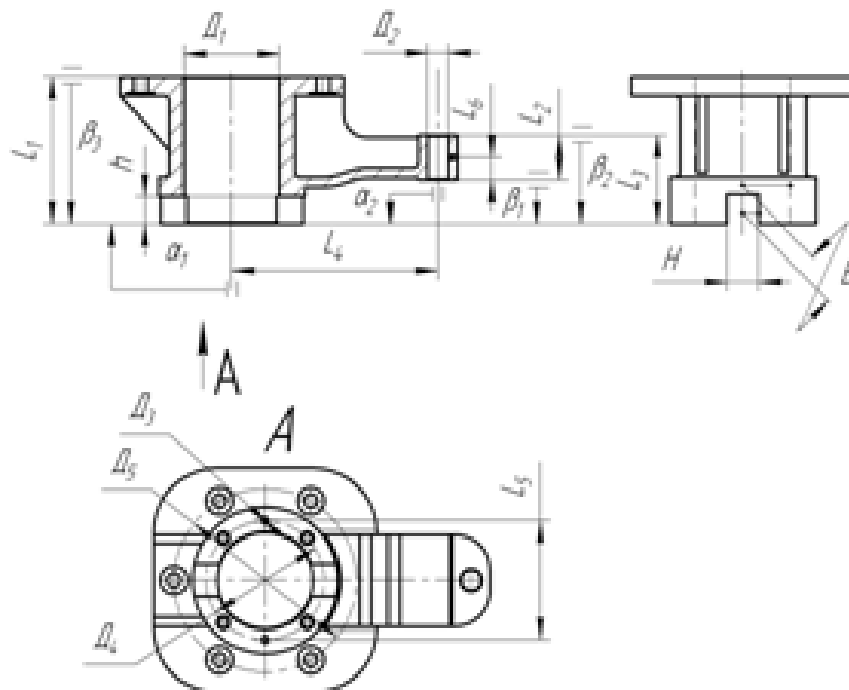


Рисунок 2.2 – Розмірні ланцюги деталі

До найважливіших параметрів належать: точність виконання центрального отвору D_1 , а також отворів D_2 і D_3 ; точність лінійних розмірів L_1 , L_2 , L_3 , L_4 та L_5 ; дотримання розмірів пазів H та h ; забезпечення перпендикулярності α_1 осі отвору D_1 до базової площини корпусу; перпендикулярності α_2 отвору D_2 відносно тієї ж площини; паралельності β_1 і β_2 торцевих поверхонь бобишок до площини основи; паралельності β_3 торцевої поверхні корпусу до площини його основи; а також симетричності B бокових поверхонь паза щодо площини симетрії корпусу.

До другорядних параметрів можна віднести точність взаємного розташування отворів D_4 і D_5 , призначених для кріпильних болтів, а також точність координування отвору L_6 під маслянку.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

На основі встановлених розмірних взаємозв'язків, а також вимог до точності й якості поверхонь визначаються та формулюються основні технологічні завдання, що мають бути вирішені в процесі механічної обробки деталі «Корпус підп'ятника». Від правильності їх виконання значною мірою залежать точність виготовлення виробу та економічна ефективність виробництва.

Для забезпечення необхідної точності розмірів і взаємного розташування оброблених поверхонь необхідно виконати такі вимоги:

1. Забезпечити площинність базової поверхні корпусу в межах 0,05 мм при шорсткості поверхні Ra 2,0 мкм.
2. Досягти точності отвору $\varnothing 210H7 (+0,046 \text{ мм})$ із шорсткістю поверхні Ra 1,6 мкм.
3. Забезпечити точність виготовлення отвору $\varnothing 48H8^{+0,039} \text{ мм}$ та шорсткість Ra 1,6 мкм.
4. Гарантувати точність взаємного розташування отворів $\varnothing 210H7$ і $\varnothing 48H8$ у межах розміру $452 \pm 0,05 \text{ мм}$.
5. Забезпечити розмір $\varnothing 194_{-0,2} \text{ мм}$, шорсткість поверхні Ra 3,2 мкм та паралельність відносно установчої площини корпусу в межах 0,05 мм.
6. Досягти точності розміру $\varnothing 98h10_{-0,14} \text{ мм}$, забезпечивши шорсткість Ra 2,0 мкм і паралельність до базової площини корпусу не більше 0,05 мм.
7. Витримати розмір $322_{-0,14} \text{ мм}$ із шорсткістю Ra 2,5 мкм та паралельністю до установчої поверхні в межах 0,05 мм.
8. Забезпечити точність розмірів паза $\varnothing 70H9^{+0,074} \text{ мм}$ та $60 \pm 0,1 \text{ мм}$ при шорсткості поверхні Ra 2,0 мкм.
9. Виконати отвори під установчі штифти з параметрами $\varnothing 16H7^{+0,018} \text{ мм}$ і міжосьовою відстанню $260 \pm 0,03 \text{ мм}$, забезпечивши шорсткість обробленої поверхні Ra 1,6 мкм.
10. Забезпечити перпендикулярність осі отвору $\varnothing 210H7$ до установчої площини корпусу з відхиленням не більше 0,03 мм.
11. Забезпечити перпендикулярність осі отвору $\varnothing 48H8$ до базової площини корпусу в межах 0,025 мм.
12. Гарантувати симетричне розташування паза $\varnothing 70H9$ відносно осей отворів $\varnothing 210H7$ та $\varnothing 48H8$ з допустимим відхиленням не більше 0,04 мм.
13. Забезпечити виконання різьби M27-7H, розміру $\varnothing 260 \pm 0,5 \text{ мм}$ і кута $45^\circ \pm 8'$ при шорсткості поверхні Ra 5,0 мкм.
14. Досягти точності розмірів $\varnothing 30^{+0,52} \text{ мм}$,

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Ø 400±0,5 мм та кута 60°±10' із шорсткістю поверхні Ra 6,3 мкм. 15. Забезпечити розміри Ø60^{+0,74} мм і 5±0,15 мм при шорсткості поверхні Ra 6,3 мкм. 16. Виконати різбовий отвір M12-7H з розміром 49±0,31 мм та шорсткістю поверхні Ra 5,0 мкм.

Завдання, сформульовані у попередніх підпунктах, реалізуються завдяки поєднанню відповідних способів механічної обробки та раціонально обраної схеми базування заготовки. На цьому етапі для кожної поверхні, що підлягає обробленню, визначають такі технологічні методи, які забезпечують досягнення необхідної точності та показників якості з мінімальними витратами часу і ресурсів. Вибір способів фінішної обробки всіх поверхонь деталі, а також методів виконання проміжних технологічних переходів здійснюють відповідно до вимог щодо точності [21] та якості готового виробу. При цьому враховують особливості вихідної заготовки й фізико-механічні характеристики матеріалу, що обробляється.

Згідно точності механічної обробки, наведених у джерелі [19], визначаємо можливі технологічні способи та необхідну кількість переходів для оброблення поверхонь деталі. Перелік обраних методів узагальнено та представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Методи обробки поверхонь деталі

№ техно-логічної задачі	Параметри	Значення параметрів	Можливі методи та кількість переходів		
			Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
1	Площинність Шорсткість	0,05 мм Ra 2,0 мкм	1. Фрезерування чорнове. 2. Фрезерування чистове.	1. Фрезерування чорнове. 2. Фрезерування чистове. 3. Шліфування чистове.	1. Стругання чорнове. 2. Стругання чистове. 3. Стругання тонке.
2 10	Точність розміру Перпендикулярність Шорсткість	Ø210 ^{+0,046} мм 0,03мм Ra 2,0мкм	1. Розточування чорнове. 2. Розточування чистове. 3. Розточування тонке.	1. Розточування чорнове. 2. Розточування чистове. 3. Шліфування чистове.	1.Розточування чорнове. 2. Шліфування чорнове. 3. Шліфування чистове.
3 4 11	Точність розміру Перпендикуляр-	Ø44 ^{+0,039} мм 452±0,05мм 0,025мм	1. Розточування чорнове. 2. Розточування	1. Розточування чорнове. 2. Розточування	1. Розточування чорнове. 2. Шліфування

	ність Шорсткість	Ra 2,0мкм	чистове. 3. Розточування тонке.	чистове. 3. Шліфування чистове.	чорнове. 3. Шліфування чистове.
5	Точність розміру Паралельність Шорсткість	194 _{-0,2} мм 0,05мм Ra 3,2мкм	1. Фрезерування чорнове. 2. Фрезерування чистове.	1. Фрезерування чорнове. 2. Фрезерування напівчистове. 3. Фрезерування чистове.	—
6	Точність розміру Паралельність Шорсткість	98 _{-0,14} мм 0,05мм Ra 2,0мкм	1. Фрезерування чистове. 2. Фрезерування чистове.	1. Фрезерування чорнове. Фрезерування напівчистове. 3. Фрезерування чистове.	—
7	Точність розміру Паралельність Шорсткість	322 _{-0,14} мм 0,05мм Ra 2,5мкм	1. Фрезерування чистове. 2. Фрезерування чистове.	Фрезерування чорнове. Фрезерування чистове. 3. Фрезерування тонке.	1. Стругання чорнове. 2. Стругання чистове. 3. Стругання тонке.
8 12	Точність розміру Симетричність Шорсткість	70 ^{+0,074} мм 60±0,1мм 0,04мм Ra 2,0мкм	Фрезерування шпонковою фрезою.	1. Фрезерування дисковою фрезою.	Протягування
9	Точність розміру Шорсткість	Ø16 ^{+0,018} мм 260±0,03мм Ra 2,0мкм	1. Свердління. 2. Зенкерування 3. Розвертування	—	—
13	Точність розміру Шорсткість	M27-7H 260±0,5мм 45°±8' Ra 5 мкм	1. Свердління 2. Розвертування. 3. Нарізання різьби мітчиком.	1. Свердління. 2. Нарізання різьби мітчиком.	—
14	Точність розміру Шорсткість	Ø30 ^{+0,52} мм 400±0,5мм Ra 6,3 мкм	1. Свердління. 2. Розвертування.	1. Свердління.	—
15	Точність розміру Шорсткість	Ø60 ^{+0,74} мм Ra 6,3 мкм	Розточування чорнове	Цекування цековкою	—
16	Точність розміру Шорсткість	M12-7H 49±0,31мм Ra 5 мкм	1. Свердління. 2. Нарізання різьби мітчиком.	—	—

2.3. Вибір та обґрунтування технологічних баз

Під час вибору базових поверхонь необхідно насамперед забезпечити виконання всіх, або більшості технологічних операцій від одних і тих самих баз. Дотримання принципу незмінності базування дає змогу підвищити точність взаємного розташування оброблених поверхонь, сприяє стандартизації елементів установаження та закріплення пристроїв, а також спрощує їх виготовлення й подальше використання [5].

Розглянемо різні способи базування заготовки під час механічної обробки для визначення найбільш доцільного варіанта, який забезпечить ефективне вирішення основних технологічних завдань, що виникають у процесі виготовлення деталі «Корпус підп'ятника».

Необхідно забезпечити точність розміру $322_{-0,14}$ мм та витримати паралельність відносно базової поверхні в межах 0,05 мм. Це завдання виконується під час вертикально-фрезерної операції при обробці площини фрезеруванням. Спосіб базування деталі наведено на рисунку 2.3.

$$\omega_{\Delta\Delta} = \omega_{\text{АТК}};$$

$\omega_{\alpha\Delta} = \omega_{\alpha\text{ТК}}$; $\omega_{\text{АТК}} = 0,14\text{мм}$ – похибка технологічної системи (похибка, яка виникає під час чистового фрезерування);

$\omega_{\alpha\text{ТК}} = 0,04\text{мм}$ – похибка технологічної системи (похибка, яка виникає під час чистового фрезерування);

$$\omega_{\Delta\Delta} = 0,14\text{мм};$$

$$\omega_{\alpha\Delta} = 0,04\text{мм}.$$

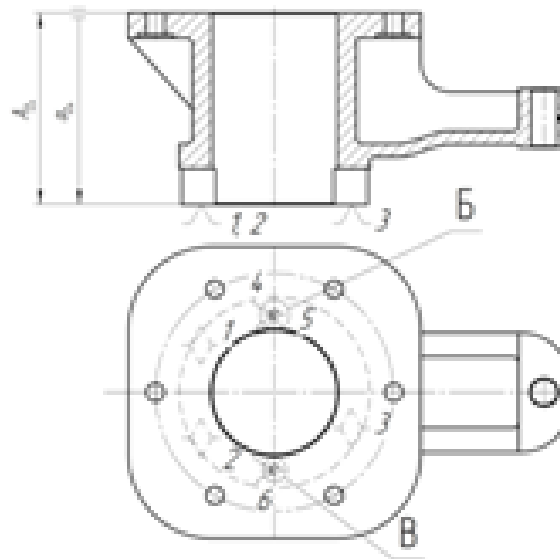


Рисунок 2.3 – Варіант базування для вирішення технологічної задачі №1

Розглянемо спосіб базування для задачі №2 (згідно таблиці 2.1).

Необхідно забезпечити точність розміру $194_{-0,2}$ мм та паралельність відносно базової поверхні в межах 0,05 мм.

Оптимальний варіант базування показано на рисунку 2.4. У цьому випадку деталь установлюється на циліндричний і зрізний пальці. Для найкращого варіанту базування характерні такі особливості:

$$\omega_{B\Delta} = \omega_{B\text{ ТК}};$$

$$\omega_{\gamma\Delta} = \omega_{\gamma\text{ ТК}};$$

$\omega_{B\text{ ТК}} = 0,12\text{мм}$ – похибка технологічної системи (похибка, яка виникає під час чистового фрезерування);

$\omega_{\gamma\text{ ТК}} = 0,03\text{мм}$ – похибка технологічної систем похибка, яка виникає під час чистового фрезерування);

$$\omega_{B\Delta} = 0,12\text{мм};$$

$$\omega_{\gamma\Delta} = 0,04\text{мм}$$

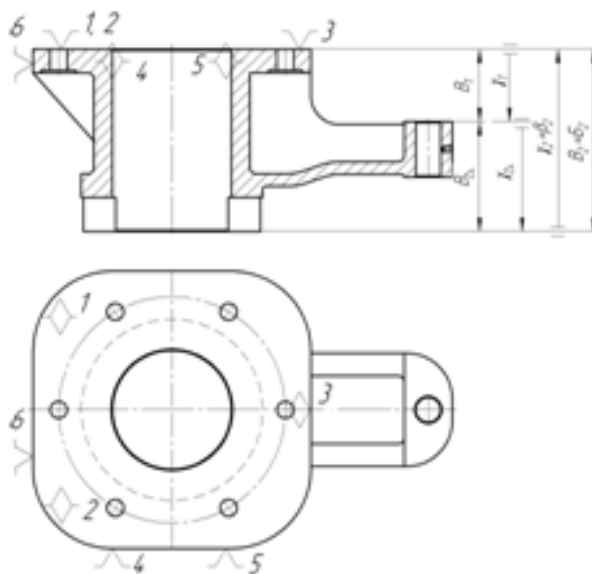


Рисунок 2.4 – Базування для вирішення технологічної задачі № 2

Для механічної обробки деталі «Корпус підп'ятника» як технологічні бази обрано поверхні, що забезпечують надійне та стійке закріплення заготовки, а також відповідають вимогам точності взаємного розташування оброблюваних поверхонь. Вибір баз здійснено з урахуванням

конструктивних особливостей деталі, принципу суміщення конструкторських і технологічних баз та забезпечення мінімальних похибок базування. Прийнята схема базування дозволяє виконати всі необхідні операції механічної обробки з дотриманням заданих допусків, шорсткості та вимог до геометричної точності деталі.

2.4. Встановлення послідовності обробки поверхонь

На точність механічної обробки суттєво впливають похибки базування заготовки під час її встановлення на верстаті. Перевагою базового технологічного процесу (представлено в додатку А) є використання універсального обладнання та стандартного технологічного оснащення, що забезпечує його гнучкість і спрощує організацію виробництва. Водночас даний технологічний процес має і певні недоліки, основним з яких є значна тривалість циклу механічної обробки, що негативно впливає на продуктивність виготовлення деталей.

З урахуванням типу виробництва, розмірних взаємозв'язків між поверхнями деталі, обраних способів обробки та прийнятих схем базування заготовки визначається послідовність виконання технологічних операцій.

На першій операції механічної обробки здійснюється чорнове фрезерування торцевої поверхні корпусу, а також попередня обробка отвору $\varnothing 210$ мм.

Під час другої операції виконується чорнове та чистове фрезерування торця корпусу, а також обробка отворів $M27 \times 3-7H$ та $\varnothing 16H7$, які надалі використовуються як чистові технологічні бази.

На третій операції проводиться обробка торцевої поверхні корпусу та торця бобишки, а також остаточне оброблення отворів $\varnothing 210H7$, $\varnothing 44H8$ і $\varnothing 30$.

Четверта операція передбачає механічну обробку торця бобишки та фрезерування паза корпусу.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

На п'ятій операції виконується нарізання різьбового отвору М12-7Н для встановлення маслянки.

2.5. Розробка та обґрунтування маршруту обробки

Для вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі «Корпус підп'ятника» карусельного верстату внесемо зміни до базового ТП з метою скорочення штучного часу на виготовлення деталі, водночас покращивши якісні характеристики оброблених поверхонь.

Операція 005. Фрезерно-розточувальна

Мета операції. Виконати чорнову обробку торцевої поверхні корпусу та отвору $\varnothing 210$ мм для подальшого використання цих поверхонь як чистових баз на наступному етапі обробки. Ескіз операції 005 наведено на рисунку 2.5.

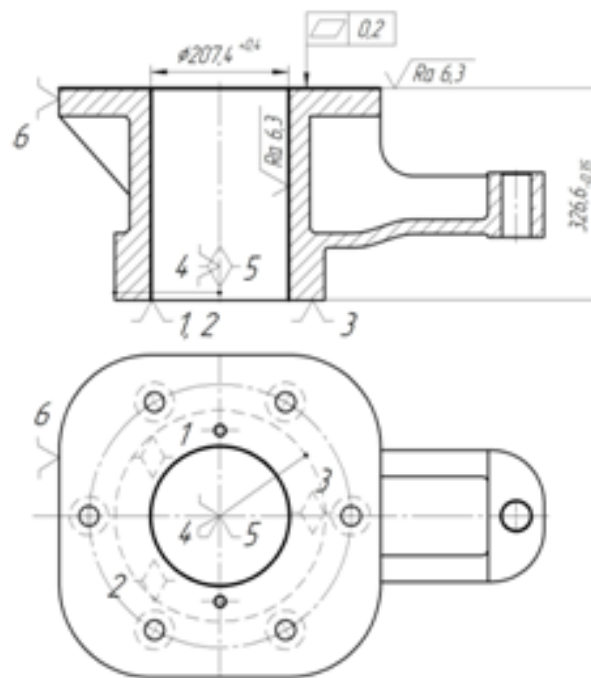


Рисунок 2.5 – Ескіз до операції 005

Суть операції:

1. Виконати чорнове фрезерування поверхні за програмою, забезпечивши розмір $326,6_{-0,35}$ мм, площинність у межах 0,2 мм та шорсткість $Ra\ 6,3$ мкм.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Як ріжучий інструмент використовуємо торцеву фрезу зі змінними ріжучими елементами, оснащеними твердосплавними пластинами, діаметром 160 мм, матеріал пластин ВК8.

2. Виконати чорнове розточування отвору, забезпечивши розмір $\varnothing 207,4^{+0,4}$ мм, перпендикулярність до установочної поверхні 0,2 мм та шорсткість Ra 6,3 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо розточний різець з механічним кріпленням тригранних пластин для чорнової обробки, матеріал пластин ВК4.

Для виконання даних операцій застосовуємо вертикальний багатоцільовий верстат HAAS VF6-50 (рисунок 2.6). Технічні характеристики цього верстата наведені в додатку Б.

Використовуємо спеціальне верстатне пристосування (спроектоване в розділі 3). Заготовка закріплюється у даному пристосуванні. Вимірювальний інструмент: штангенциркуль, нутромір індикаторний з точністю вимірювання 0,005 мм, різьбова пробка ПР для різьби М12.



Рисунок 2.6 – Багатоцільовий верстат з ЧПУ HAAS VF6-50

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Операція 010. Фрезерно-розточувальна

Мета операції: обробити торцеву поверхню корпусу та отвори М27-7Н і $\varnothing 16\text{H}7$, щоб надалі торець і отвір $\varnothing 16\text{H}7$ могли слугувати чистовими базами для наступних операцій. Ескіз операції 010 наведено на рисунку 2.7.

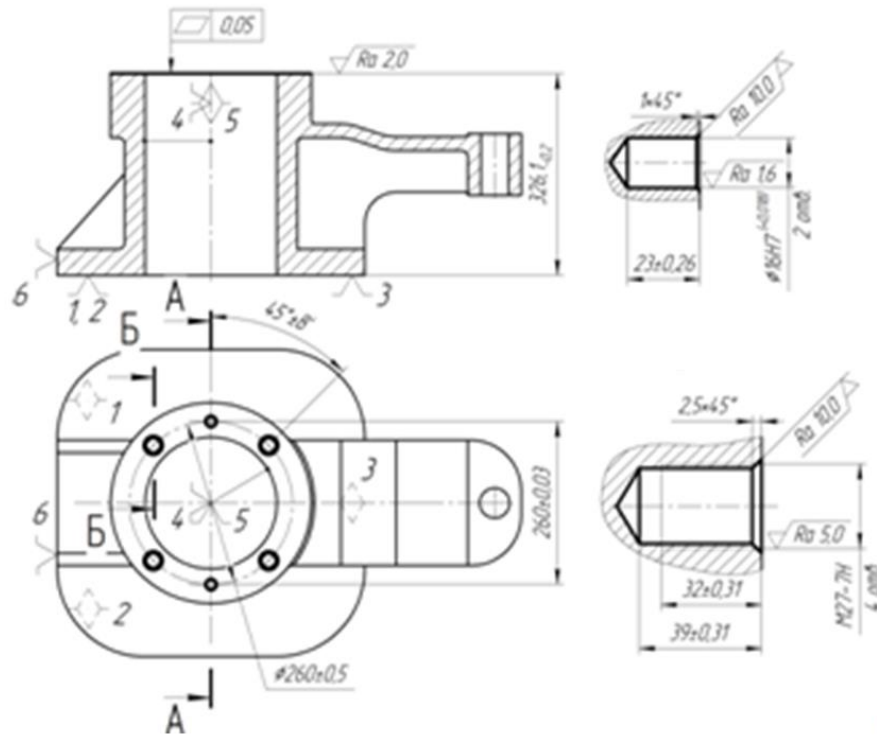


Рисунок 2.7 – Ескіз до операції 010

Суть операції:

1. Виконати зенкерування двох отворів $\varnothing 15,8^{+0,043}$ мм, забезпечивши розмір $260 \pm 0,065$ мм та шорсткість $Ra\ 3,2$ мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо зенкер $\varnothing 15,8$ мм, ріжуча частина – твердосплавні пластини ВК3.

2. Виконати розгортання двох отворів $\varnothing 16\text{H}7^{+0,018}$ мм, забезпечивши розмір $260 \pm 0,03$ мм та шорсткість $Ra\ 1,6$ мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо розгортку $\varnothing 16\text{H}7$ мм, ріжуча частина – твердосплавні пластини ВК3.

3. Центрувати чотири отвори, витримавши розміри $\varnothing 2^{+0,25}$ мм, $260 \pm 0,3$ мм, кут $45^\circ \pm 8'$, шорсткість $Ra\ 10$ мкм.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Як ріжучий інструмент використовуємо центрувальне свердло $\varnothing 2$ мм, матеріал Р6М5.

4. Виконати свердління чотирьох отворів $\varnothing 24^{+0,52}$ мм, витримавши розміри $260 \pm 0,5$ мм, кут $45^\circ \pm 8'$, шорсткість Ra 10 мкм.

Як ріжучий інструмент застосовуємо спіральне свердло $\varnothing 24$ мм, оснащене твердосплавними пластинами ВК4.

5. Зенкерувати фаски $3 \times 45^\circ$.

Як ріжучий інструмент використовуємо конічний зенкер, матеріал Р6М5.

6. Нарізати різьбу М27 $\times$ 3-7Н, витримавши розміри $260 \pm 0,5$ мм, кут $45^\circ \pm 8'$, шорсткість Ra 4 мкм.

Як ріжучий інструмент застосовуємо мітчик з прохідним хвостовиком для метричної різьби М27 $\times$ 3, матеріал Р6М5.

Для виконання даних операцій застосовуємо вертикальний багатоцільовий верстат НААС VF6-50. Використовуємо також спеціальне верстатне пристосування (спроектоване нами). Вимірювальні засоби: штангенциркуль ШЦ I-500, нутромір індикаторний з точністю вимірювання 0,005 мм, різьбова пробка ПР, для різьби М12 та пристосування для контролю площинності.

Операція 015. Фрезерно-розточувальна

Мета операції – виконати фрезерування торцевих поверхонь корпусу та обробку отворів. Ескіз операції 015 представлено на рисунку 2.8.

Суть операції:

1. Виконати чистове фрезерування поверхні за програмою, забезпечивши розмір $322,0_{-0,14}$ мм, паралельність до установочної площини 0,05 мм та шорсткість Ra 2,5 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо торцеву фрезу зі змінними ріжучими елементами, оснащеними твердосплавними пластинами, діаметром 160 мм, матеріал пластин ВК8.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

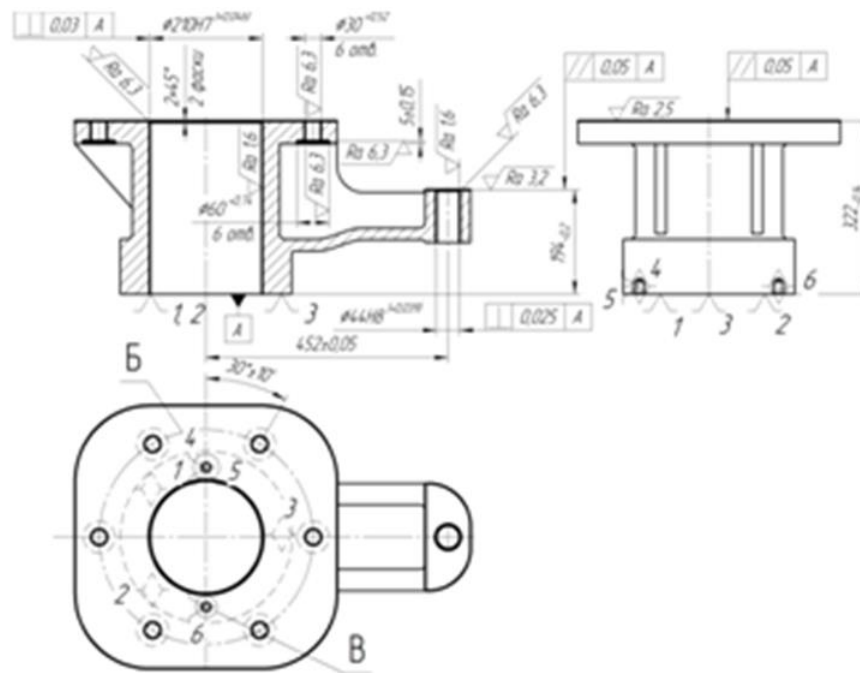


Рисунок 2.8 – Ескіз до операції 015

2. Виконати чорнове фрезерування поверхні за один прохід, витримавши розмір $194,5_{-0,3}^{+0,3}$ мм, паралельність до установочної площини має бути 0,2 мм та шорсткість $Ra\ 6,3$ мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо торцеву фрезу зі змінними ріжучими елементами, оснащеними твердосплавними пластинами, діаметром 100 мм, матеріал пластин ВК8.

3. Виконати чистове фрезерування поверхні за один прохід, витримавши розмір $194_{-0,2}^{+0,2}$ мм, паралельність до установочної площини 0,05 мм та шорсткість $Ra\ 3,2$ мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо торцеву фрезу зі змінними ріжучими елементами, оснащеними твердосплавними пластинами, діаметром 100 мм, матеріал пластин ВК6.

4. Центрувати шість отворів, витримавши розміри $\varnothing 2^{+0,25}_{-0,25}$ мм, $400 \pm 0,3$ мм, кут $30^\circ \pm 10'$, шорсткість $Ra\ 10$ мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо центрувальне свердло $\varnothing 2$ мм, матеріал ріжучої частини Р6М5.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

5. Виконати свердління шести отворів $\varnothing 20^{+0,52}$ мм, витримавши розміри $400 \pm 0,5$ мм, кут $30^\circ \pm 10'$, шорсткість Ra 10 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо спіральне свердло $\varnothing 20$ мм, оснащене твердосплавними пластинами ВК4.

6. Розсвердлити шість отворів до $\varnothing 30^{+0,52}$ мм, витримавши розміри $400 \pm 0,5$ мм, кут $60^\circ \pm 10'$, шорсткість Ra 6,3 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо спіральне свердло $\varnothing 30$ мм, оснащене твердосплавними пластинами ВК4.

7. Виконати чорнове розточування шести отворів, витримавши розміри $\varnothing 60^{+0,74}$ мм, $400 \pm 0,5$ мм, кут $30^\circ \pm 10'$, глибину $5 \pm 0,15$ мм, шорсткість Ra 6,3 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо розточний різець з механічним кріпленням тригранних пластин для чорнової обробки, матеріал пластин ВК4.

8. Виконати чистове розточування отвору, витримавши розмір $\varnothing 209,4^{+0,1}$ мм, перпендикулярність до установочної площини 0,08 мм, шорсткість Ra 2,5 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо розточний різець з механічним кріпленням тригранних пластин, з матеріалом пластин ВК6.

9. Виконати тонке розточування отвору, витримавши розмір $\varnothing 210^{+0,046}$ мм, перпендикулярність до установочної площини 0,03 мм, шорсткість Ra 1,6 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо розточний різець з механічним кріпленням тригранних пластин, матеріал пластин – ВК3.

10. Виконати розточування фаски $2 \times 45^\circ$, шорсткість Ra 6,3 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо розточний різець з механічним кріпленням тригранних пластин, матеріал пластин – ВК4.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Виконати чорнове розточування отвору, витримавши розмір $\varnothing 41,8^{+0,25}$ мм, $452 \pm 0,25$ мм, перпендикулярність до установочної площини 0,15 мм, шорсткість Ra 6,3 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо розточний різець з механічним кріпленням тригранних пластин, матеріал пластин – ВК4.

12. Виконати чистове розточування отвору, витримавши розмір $\varnothing 43,4^{+0,062}$ мм, $452 \pm 0,1$ мм, перпендикулярність до установочної площини 0,06 мм, шорсткість Ra 2,5 мкм.

13. Виконати тонке розточування отвору, забезпечивши розмір $\varnothing 44^{+0,039}$ мм, відстань $452 \pm 0,05$ мм, перпендикулярність до установочної площини в межах 0,025 мм та шорсткість поверхні Ra 1,6 мкм.

14. Обробити фаску розміром $2 \times 45^\circ$, забезпечивши шорсткість поверхні Ra 6,3 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо розточний різець з механічним кріпленням тригранних пластин для попередньої обробки, матеріал пластин – ВК4.

Для виконання даних операцій застосовуємо вертикальний багатоцільовий верстат HAAS VF6-50. Використовуємо також спеціальне верстатне пристосування (спроектоване нами). Вимірювальні засоби: штангенциркуль ШЦ I-500, нутромір індикаторний з точністю вимірювання 0,005 мм, пристосування для контролю перпендикулярності та паралельності.

Операція 020. Фрезерно-розточувальна

Мета операції: фрезерування торців корпусу та обробка отворів. Ескіз операції 020 зображено на рисунку 2.9.

Суть операції:

1. Виконати чорнове фрезерування поверхні на один прохід, витримавши розмір $98,5_{-0,3}$ мм, паралельність до установочної площини 0,2 мм, шорсткість Ra 6,3 мкм.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як ріжучий інструмент використовуємо торцеву фрезу зі змінними ріжучими елементами, оснащеними твердосплавними пластинами, $\varnothing 100$ мм, матеріал пластин ВК8.

2. Виконати чистове фрезерування поверхні на один прохід, витримавши розмір $98_{-0,14}$ мм, паралельність до установочної площини $0,05$ мм, шорсткість $Ra\ 2,0$ мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо торцеву фрезу зі змінними ріжучими елементами, оснащеними твердосплавними пластинами, $\varnothing 100$ мм, матеріал пластин ВК6.

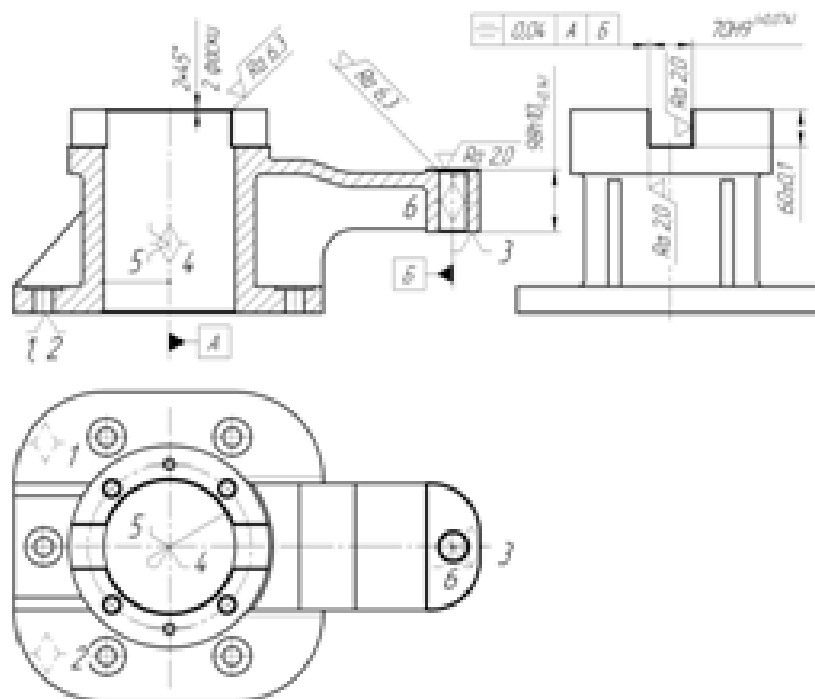


Рисунок 2.9 – Ескіз до операції 020

3. Виконати фрезерування паза, врізання на глибину 4-5 мм та фрезерування з подачею вздовж деталі за один прохід, зміщення фрези вбік і повторне фрезерування з подачею в протилежну сторону. Повторення циклу, витримавши розміри $60 \pm 0,1$ мм, $70^{+0,074}$ мм, витримати симетричність осі паза відносно баз А і Б $0,04$ мм, шорсткість $Ra\ 2,0$ мкм.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Як ріжучий інструмент використовуємо шпонкову фрезу $\varnothing 40$ мм зі змінними ріжучими елементами, оснащеними твердосплавними пластинами, матеріал пластин ВК6.

4. Виконати розточування двох фасок $2 \times 45^\circ$, шорсткість $Ra\ 6,3$ мкм. Як ріжучий інструмент використовуємо розточний різець з механічним кріпленням тригранних пластин для чорнової обробки, матеріал пластин ВК4.

Для виконання даних операцій застосовуємо вертикальний багатоцільовий верстат HAAS VF6-50. Використовуємо також спеціальне верстатне пристосування (спроектоване нами). Вимірювальні засоби: штангенциркуль ШЦ I-500, нутромір індикаторний з точністю вимірювання $0,005$ мм, пристрій для контролю паралельності, граничний калібр-пробка для вимірювання ширини паза.

Операція 025 4221 Горизонтально-розточувальна

Мета операції: обробка отвору під маслянку. Ескіз операції 025 представлено на рисунку 2.10.

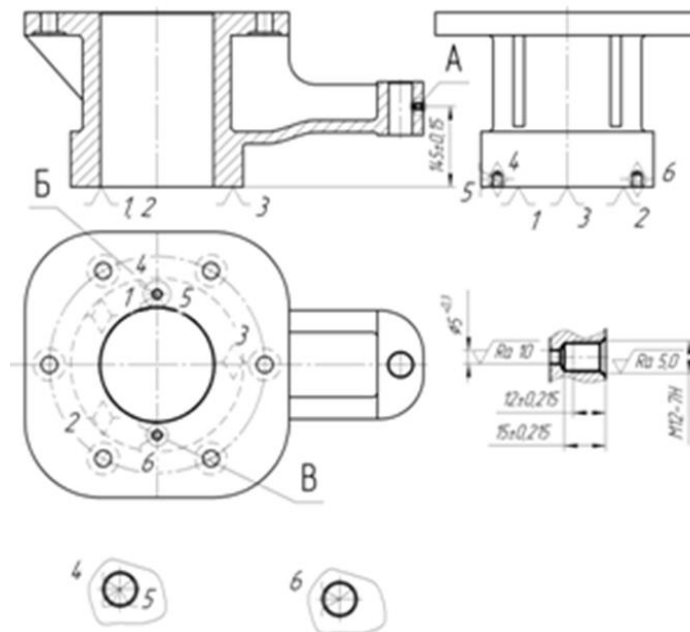


Рисунок 2.10 – Ескіз для операції 025

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Суть операції:

1. Свердлити отвір $\varnothing 5^{+0,3}$ мм на глибину $22 \pm 0,5$ мм з витримкою розміру $145 \pm 0,15$ мм, шорсткість Ra 10 мкм.

2. Розсвердлити отвір до $\varnothing 10,2^{+0,18}$ мм на глибину $15 \pm 0,215$ мм, витримуючи розмір $145 \pm 0,15$ мм, шорсткість Ra 6,3 мкм.

3. Зенкувати фаску $2 \times 45^\circ$.

Як ріжучий інструмент використовуємо комбінований інструмент свердло-зенківка, матеріал Р6М5.

4. Нарізати різьбу М12х1,75-7Н, витримуючи розміри $12 \pm 0,215$ мм, $145 \pm 0,15$ мм, шорсткість Ra 4 мкм.

Як ріжучий інструмент використовуємо мітчик з прохідним хвостовиком для метричної різьби М12х1.

Для виконання даних, враховуючи зручність обробки, призначення та технологічні властивості верстата та вартість обладнання, вибираємо горизонтально-розточувальний верстат 2М615. Використовуємо також спеціальне верстатне пристосування. Вимірювальні засоби: штангенциркуль ШЦ I-500, нутромір індикаторний з точністю вимірювання 0,005 мм, різбова пробка ПР для різьби М12.

2.6. Визначення режимів різання

Аналітичний розрахунок режимів різання буде проведений для частини операції 010 (чорнове та чистове фрезерування). Розрахунок виконується відповідно до [16].

Розрахунок для операції 005 (чорнове та чистове фрезерування)

Вихідні дані:

Деталь: корпус;

Матеріал деталі: сірий чавун СЧ20;

Метод отримання заготовки: лиття у пісчано-глинисті форми.

Визначення режимів різання:

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Глибина різання:

Для чорнового фрезерування: $t_{\text{чорн}} = 3,6$ мм;

Для чистового фрезерування: $t_{\text{чист}} = 0,5$ мм.

Подача для фрезерування чавуну СЧ20:

Для чорнового фрезерування: $Sz_{\text{чорн}} = 0,30$ мм/зуб;

Для чистового фрезерування: $Sz_{\text{чист}} = 0,25$ мм / зуб.

Призначення періоду стійкості фрези:

Для торцевих фрез $D = 160$ мм, приймаємо $T = 180$ хв.

Швидкість різання розраховується за [5]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} K_v$$

Значення коефіцієнтів і степеневих показників приймаються для обробки сірого чавуну торцевими фрезами з твердосплавною різальною частиною згідно з нормативними даними та рекомендаціями [17]

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

$$K_{mV} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{nv} = \left(\frac{190}{220}\right)^{1,25} = 0,83;$$

$$K_{nV_{\text{чорн}}} = 0,85; K_{nV_{\text{чист}}} = 1;$$

$$K_{uV_{\text{чорн}}} = 0,83; K_{uV_{\text{чист}}} = 1$$

$$K_{V_{\text{чорн}}} = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{iV} = 0,83 \cdot 0,85 \cdot 0,83 = 0,59.$$

$$K_{V_{\text{чист}}} = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{iV} = 0,83 \cdot 1 \cdot 1 = 0,83$$

Визначаємо швидкість різання:

Для режиму чорнового фрезерування швидкість різання розраховується за наведеною залежністю з урахуванням прийнятих коефіцієнтів, глибини різання, подачі та періоду стійкості інструмента [7].

Для чорнового фрезерування:

$$V_{\text{чорн}} = \frac{445 \cdot 160^{0,2}}{180^{0,32} \cdot 3,6^{0,15} \cdot 0,3^{0,35} \cdot 160^{0,2} \cdot 10^0} \cdot 0,59 = 92,5$$

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для чистового фрезерування:

$$V_{\text{чист}} = \frac{445 \cdot 160^{0,2}}{180^{0,32} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,25^{0,35} \cdot 160^{0,2} \cdot 10^0} \cdot 0,83 = 126,4$$

Швидкість різання для чистової обробки визначається за аналогічною формулою з використанням параметрів, прийнятих для чистового фрезерування.

Далі розраховуємо частоту обертання згідно [16]

$$n_{\text{черн}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 92,5}{3,14 \cdot 160} = 184$$

$$n_{\text{чист}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 126,4}{3,14 \cdot 160} = 252$$

Вертикальний багатоцільовий верстат HAAS VF6-50 має безступінчасте регулювання, тому приймаємо частоту обертання:

$$n_{\text{Дчерн}} = 184$$

$$n_{\text{Дчист}} = 252$$

Швидкість різання буде:

$$V_{\text{Дчерн}} = 92,5$$

$$V_{\text{Дчист}} = 126,4$$

Далі визначимо головну складову сили різання при фрезеруванні Pz:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{MP}$$

Вибравши коефіцієнти та показники ступеня для сірого чавуну, отримуємо:

$$C_p = 54,5; x = 0,9; y = 0,74; u = 1; q = 1; w = 0$$

$$K_{MP} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n; n = 1,0; K_{MP} = \left(\frac{220}{190} \right)^{1,0} = 1,16$$

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Відповідно сили різання будуть:

$$P_{Z_{\text{черн}}} = \frac{54,5 \cdot 3,6^{0,9} \cdot 0,3^{0,74} \cdot 160^1 \cdot 10}{160^1 \cdot 184^0} \cdot 1,16 = 933,7 \text{ Н}$$

$$P_{Z_{\text{чист}}} = \frac{54,5 \cdot 0,5^{0,9} \cdot 0,25^{0,74} \cdot 160^1 \cdot 10}{160^1 \cdot 252^0} \cdot 1,16 = 104,7 \text{ Н}$$

Визначимо потужність різання:

$$N_{\text{чорн}} = \frac{P_{Z_{\text{черн}}} \cdot V_{\text{Дчерн}}}{1020 \cdot 60} = \frac{933,7 \cdot 92,5}{1020 \cdot 60} = 1,41 \text{ кВт}$$

Аналогічно розраховуємо режими різання для усіх операцій вдосконаленого технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус підп'ятника» карусельного верстата та зводимо усі отримані дані у таблицю режимів різання. Вона представлена у додатку В.

Згідно наших розрахунків, загальний основний час $T_o = 36,93$ хв.

2.7. Нормування технологічного процесу

Визначення норм часу на операції технологічного процесу проводиться відповідно до [5] та заносимо в таблицю 2.2. Нормування проводиться для операції 025 горизонтально-розточувальної:

$$T_{\text{ук}} = t_o + t_{\text{всп}} + t_{\text{омд}} + \frac{T_{\text{нз}}}{n}$$

де, t_o – основний час обробки; $t_{\text{всп}}$ – додатковий час обробки; $t_{\text{омд}}$ – час на обслуговування; $T_{\text{нз}}$ – підготовчо-заклучний час; n – кількість виробів у партії $n = 45$.

Основний (технологічний) час буде дорівнювати:

$$t_o = 0,09 \text{ хв.}$$

Допоміжний час:

$$t_{\text{доп}} = 2 \cdot T_{\text{ош}} + 4 \cdot T_{\text{в}} + 2 \cdot T_{\text{по}} + 2 \cdot T_{\text{зам}} + T_{\text{уст}} = 1,36 + 2 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,02 + 2 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,05 = 1,7 \text{ хв.}$$

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норма штучно-калькуляційного часу на операцію 025 буде становити:

$$T_{\text{штк}} = 0,09 + 1,7 + 0,07 + 21 / 45 = 2,33 \text{ хв.}$$

Таблиця 2.2 – Технічні норми часу за операціями технологічного процесу, хв

№ і назва операції	Основний час, T_o	Допоміжний час, $T_{всп}$	Час на відпочинок $T_{від.}$	Штучний час $T_{шт}$	Підготовчо-заключний час на партію, $T_{пз}$	Кількість деталей партії, шт	Норма часу, $T_{штк}$
005 Фрезерно-розточувальна	5,38	1,08	0,26	6,72	35	45	7,50
010 Фрезерно-розточувальна	5,43	2,94	0,33	8,7	35	45	9,48
015 Фрезерно-розточувальна	16,69	3,58	0,81	21,08	35	45	21,86
020 Фрезерно-розточувальна	9,34	2,89	0,49	12,72	35	45	13,50
025 Горизонтально-розточувальна	0,09	1,7	0,07	1,86	21	45	2,33

Відповідно норма штучно-калькуляційного часу для всіх операцій буде:

$$T_{\text{штк}} = 7,50 + 9,48 + 21,86 + 13,50 + 2,33 = 54,67 \text{ хв}$$

У даному розділі проведено аналіз конструкції деталі та її технологічності, обґрунтовано вибір заготовки, визначено технологічні бази та розроблено маршрут механічної обробки. Для кожної операції підібрано необхідне обладнання, різальний і вимірювальний інструмент, а також спеціальні пристосування. Розраховано режими різання та норми часу на виконання основних технологічних операцій. Запропонований технологічний процес забезпечує досягнення заданих вимог щодо точності, шорсткості поверхонь і продуктивності виготовлення деталі.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Проектування верстатного пристосування

В даній роботі ми розробимо верстатне пристосування для операції 010 вертикально-фрезерна згідно модернізованого технологічного процесу. Пристрій призначений для закріплення та базування на столі верстаті HAAS VF6-50 (рисунок 3.1).

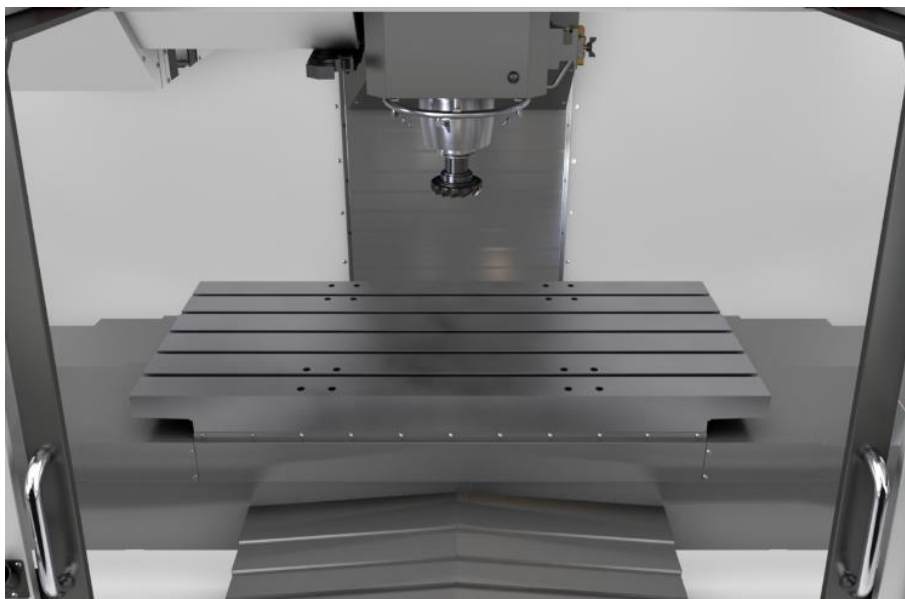


Рисунок 3.1 – Стіл верстата HAAS VF6-50

В результаті обробки мають бути забезпечені:

- точність розмірів $326,1_{-0,2}^{+0,2}$ мм, шорсткість Ra 2,0 мкм; площинність 0,05 мм;
- точність розмірів $\varnothing 16H7^{+0,018}_{-0,018}$ мм, площинність $260 \pm 0,03$ мм, шорсткість Ra 1,6 мкм;
- точність розмірів M27-7H, площинність $260 \pm 0,5$ мм, $45^\circ \pm 8'$, шорсткість Ra 5 мкм.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3.2. Розробка конструкції та опис роботи технологічного оснащення

Проектування конструкцій верстатного оснащення здійснюється конструкторськими бюро з оснащення та інструменту у тісній співпраці з технологами, які проєктують технологічні процеси виготовлення деталей нового виробу. На третьому етапі технологічної підготовки виробництва виготовляють усе необхідне оснащення та нестандартне обладнання. Цей етап є найбільш трудомістким і потребує найбільших витрат ресурсів, оскільки на нього припадає близько 60–80 % загального обсягу робіт і коштів, передбачених для технологічної підготовки виробництва.

Тому, як правило, ці роботи виконують поетапно: спочатку виготовляють лише мінімально необхідне оснащення для забезпечення запуску виробництва, а в подальшому поступово підвищують рівень його оснащеності та механізації. Такий підхід дає змогу досягти максимально економічно обґрунтованого рівня ефективності виробничого процесу.

Креслення спроектованого пристосування і його 3-D модель наведено на рисунках 3.2. та 3.3 відповідно.

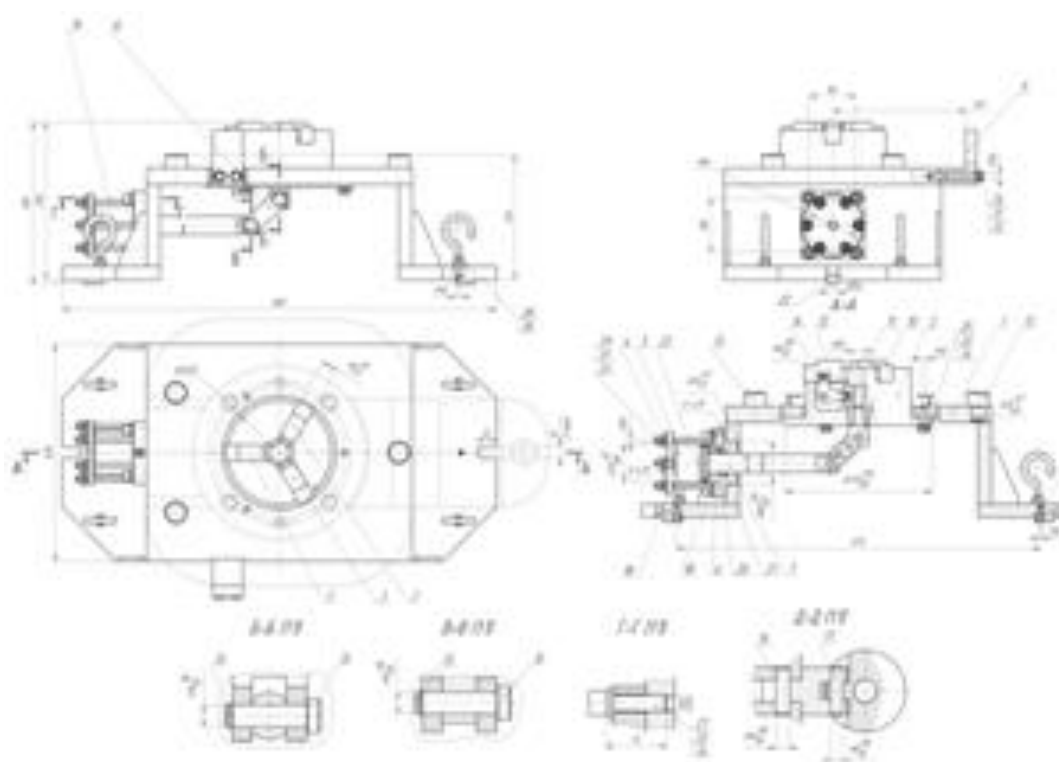


Рисунок 3.2 – Ескіз верстатного пристосування

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

На зварній плиті 1 встановлений корпус патрона 2, який центрується на плиті поверхні $\varnothing 270\text{мм}$ і кріпиться трьома болтами М12. Повітря під тиском 0,63МПа надходить у циліндр 5 через отвір К 3/8 в торці кришки 4. При цьому шток 7 переміщається вправо і через вилку 8 переміщає штовхач 10 корпусу патрона 2. Штовхач 10 з'єднаний з корпусом 11, який передає зусилля. Для розкріплення заготовки повітря подається в отвір К 3/8 у торці фланця 6, шток 7 разом з штовхачем переміщається вліво, кулачки 3 розтискаються. Для запобігання втратам повітря на торцях циліндра 5 стоять прокладки 18.

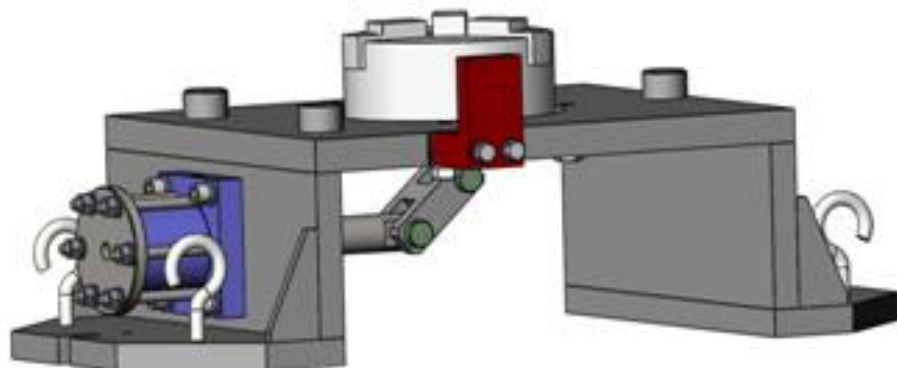


Рисунок 3.3 – 3-D модель верстатного пристосування

Пристосування базується на столі верстата за допомогою шпонок 22. Через велику масу пристосування (122 кг) для його встановлення та зняття зі столу верстата передбачені болти-гачки 28, за які можна закріпити трос крана, чи кран балки.

3.3. Розрахунок сил затиску заготовки

Схема дії сил при торцевому фрезеруванні представлена на рисунку 3.4.

Сила P_z розрахована в підпункті 2.6. «Визначення режимів різання». Згідно [16] співвідношення між силами, наведеними на рисунку 3.4:

$$P_h = 0,35 \cdot P_z = 0,35 \cdot 933,7 = 326,8\text{Н}$$

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$P_v = 0,85 \cdot P_z = 0,85 \cdot 933,7 = 793,7H$$

$$P_y = 0,35 \cdot P_z = 0,35 \cdot 933,7 = 326,8H$$

$$P_x = 0,5 \cdot P_z = 0,5 \cdot 933,7 = 466,9H$$

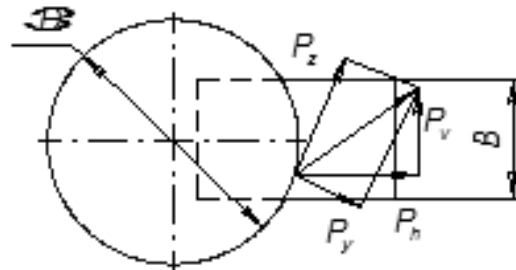


Рисунок 3.4 – Схема дії сил при торцевому фрезеруванні

Визначаємо зусилля затиску згідно [7]:

$$Q_3 = \frac{2K \cdot (M - M_{mp})}{n \cdot D \cdot f}$$

де, Q_3 – зусилля затиску, Н;

$n = 3$ – кількість кулачків;

$D = 201,8\text{мм}$ – діаметр отвору, яким базується заготовка;

$$M = P \cdot V \cdot l;$$

де, $l = 320/2 = 160\text{мм}$ – радіус поверхні, що обробляється;

f – коефіцієнт тертя спокою чавун-сталь ($f = 0,3$) [13];

$M_{mp} = F_{mp} \cdot f_1 \cdot l_1$ – момент тертя;

$F_{mp} = m \cdot g$ – сила тертя поверхні заготовки об опори пристосування.

$m = 160\text{кг}$ – маса заготовки;

f_1 – коефіцієнт тертя ($f = 0,22$ – при контакті необроблених поверхонь заготовки з опорами пристосування);

$l_1 = 220\text{мм}$ – радіус розміщення опор пристосування щодо осі кулачків;

K – коефіцієнт запасу [13]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$$

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K_1 – Коефіцієнт, який враховує стан технічної бази заготовки, $K_1 = 1,2$ (чорнова);

K_2 – коефіцієнт, який враховує затушення різального інструмента.
 $K_2 = 1,2$;

K_3 – коефіцієнт, який враховує ударне навантаження на інструмент.
 $K_3 = 1,2$;

K_4 – коефіцієнт, що враховує стабільність силового приводу. $K_4 = 1,0$;

K_5 – коефіцієнт, що враховує особливості затискного механізму.
 $K_5 = 1,0$;

K_6 – коефіцієнт, що враховує розташування опорних точок. $K_5 = 1,0$.

Тоді, приймаємо $K = 2,6$.

З іншого боку, зусилля приводу визначається згідно з рисунком 3.5.

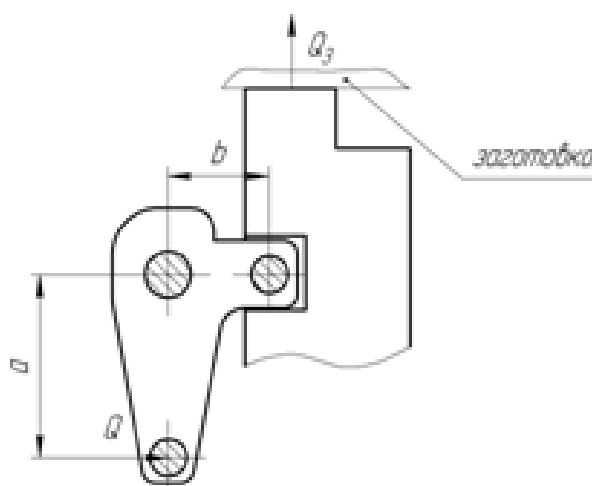


Рисунок 3.5 – Схема визначення залежності між зусиллям приводу і зусиллям затискача

$$Q = \frac{a}{b} \cdot Q_3 = \frac{a}{b} \cdot \frac{2K \cdot (P_v \cdot l - m \cdot g \cdot f_1 \cdot l_1)}{n \cdot D \cdot f}$$

де a, b – плечі важеля, $a = 40\text{мм}$; $b = 32\text{мм}$

$$Q = \frac{40}{32} \cdot \frac{2 \cdot 2,6 \cdot (793,7 \cdot 160 - 160 \cdot 9,8 \cdot 220 \cdot 0,22)}{3 \cdot 201,8 \cdot 0,3} = 1828,8\text{Н}$$

Приймаємо $Q = 1850\text{Н}$. Це значення використовуватимемо при розрахунку силового приводу.

Розрахуємо основні характеристики пневмоциліндра. Мінімальний діаметр пневмоциліндра двосторонньої дії визначається:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 P \eta$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi P \eta}},$$

де, Q – зусилля затиску пневмоциліндра, Н; $Q = 1850\text{Н}$;

P – робочий тиск пневмосистеми;

$P = 0,63\text{МПа} = 630000\text{ Н/м}^2$;

η – ККД

$\eta = 0,85$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1850}{3,14 \cdot 630000 \cdot 0,85}} = 0,066\text{ м} = 66\text{ мм}$$

Округлюємо до $D = 70\text{мм}$.

Технічні вимоги до проєктованого пневмоциліндра:

– Пневмоциліндр повинен забезпечувати повну герметичність під час роботи при тиску стисненого повітря 0,63 МПа. Витікання повітря через різьбові з'єднання, стики фланця та кришки, а також через ущільнення поршня і штока не допускається.

– Конструкція пневмоциліндра має витримувати випробування на міцність при тиску 0,9 МПа без виникнення зовнішніх витоків повітря та пошкоджень елементів.

– Під час перевірки на плавність ходу переміщення штока між крайніми положеннями при тиску 0,63 МПа повинно відбуватися рівномірно, без ривків, заїдань та інших порушень нормальної роботи.

– Тиск, який необхідний для початку руху штока без навантаження, не повинен перевищувати 0,2 МПа.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед складанням усі повітряні канали необхідно ретельно очистити та перевірити на відсутність засмічень і мати достатню пропускну здатність. Під час складання всі поверхні, які працюють у режимі тертя, повинні бути належним чином змащені. Пневмоциліндр повинен забезпечувати безвідмовну роботу із збереженням герметичності протягом не менше ніж 40 000 подвійних ходів штока на довжині переміщення, що дорівнює двом діаметрам поршня.

3.4. Розрахунок елементів пристосування на міцність

Під час розрахунку на міцність розглянемо різьбове з'єднання болтів М12. Розрахунок виконується за двома критеріями: на згинання та на зріз.

Умовою міцності є [7, 24]:

$$\sigma_{cm} = \frac{1}{3} \frac{Q}{\pi \cdot d_{cp} \cdot h \cdot z} \leq [\sigma_{cm}]$$

1/3 – тому що патрон кріпиться за допомогою 3-х болтів;

$[\sigma_{cm}] = 80 \text{ МПа}$;

$$z = \frac{H}{p}$$

де $d_{cp} = 11,835 \text{ мм}$ – середній діаметр різьблення;

$p = 1,75 \text{ мм}$ – крок різьблення.

h – висота витка ($h = 0,866 \cdot p$);

$z = 8$ – число витків;

$$\sigma_{cm} = \frac{1}{3} \cdot \frac{2050}{3,14 \cdot 11,835 \cdot 8 \cdot 1,75 \cdot 0,866} \approx 12,2 \text{ МПа} < [\sigma_{cm}]$$

Умова міцності витків за напругою зрізу:

$$\tau_{cp} = \frac{Q}{0,8 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot H} \leq [\tau_{cp}]$$

де, $H = 12 \text{ мм}$ – довжина різьбового з'єднання

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[\tau_{cp}] = 0,75 \cdot [\sigma_p] = 0,75 \cdot 580 = 435 \text{ МПа}$$

$$\tau_{cp} = \frac{2050}{0,8 \cdot 3,14 \cdot 11,835 \cdot 12} \approx 5,73 \text{ МПа} \leq [\tau_{cp}]$$

Умови міцності виконуються. Також розрахуємо штифт $\varnothing 8 \text{ мм}$. Розрахунок на міцність проводиться за допустимою межею міцності $[\sigma_p]$:

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma_p]$$

Підставивши числові дані отримаємо наступні значення:

$$\sigma = \frac{4 \cdot 1850}{3,14 \cdot 8^2} \approx 36,8 \leq [\sigma_p]$$

Умова $40,8 \text{ МПа} < 500 \text{ МПа}$ виконується безапеляційно.

3.5. Розрахунок пристосування на точність

Розрахунок полягає у визначенні точності виготовлення пристосування за прийнятими конструктивними параметрами.

На точність обробки впливає низка технологічних факторів, які зумовлюють виникнення сумарної похибки ε_0 . Значення цієї похибки не повинно перевищувати допуск δ на виконуваний розмір під час обробки заготовки, тобто має виконуватися умова:

$$\varepsilon_0 \leq \delta$$

Допустима похибка виготовлення пристосування становить, мм:

$$[\varepsilon]_{np} = T - k_T \times \sqrt{(k_{T1} \times \varepsilon_\delta)^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_{nu}^2 + (k_{T2} \times w)^2}$$

k – коефіцієнти, які враховують похибки базування, встановлення та закріплення заготовки.

Розрахунковий параметр – розмір $326,1_{-0,2} \text{ мм}$

$\varepsilon_\delta = 0$, оскільки в процесі обробки забезпечується збіг технологічної та вимірювальної баз, що сприяє підвищенню точності виготовлення деталі.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$\varepsilon_z = 0,05 \text{ мм}$ – для надійного закріплення заготовки в пристосуванні, оснащеному пневматичними затискними механізмами.;

$$\varepsilon_y = 0,11 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_u = 0,006 \text{ мм};$$

$$w = 0,08 \text{ мм}$$

$\varepsilon_{nu} = 0$ – оскільки в конструкції пристосування відсутні напрямні елементи для інструмента.

Підставивши отримані значення у формулу, одержимо:

$$[\varepsilon]_{np} = 0,2 - 1,2 \cdot \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0,05^2 + 0,11^2 + 0,006^2 + 0^2 + (0,7 \cdot 0,08)^2} = 0,042 \text{ мм}.$$

Отримане значення похибки встановлення не перевищує допустимого відхилення, що свідчить про забезпечення пристосуванням необхідної точності обробки. Приймаємо допуск паралельності поверхонь опор відносно установчої площини Е плити рівним 0,04 мм.

У даному підпункті виконано проектування верстатного пристосування для операції вертикально-фрезерної обробки. Обґрунтовано конструктивне рішення пристосування, визначено основні елементи базування та закріплення заготовки із розрахунком коефіцієнтів міцності, а також розраховано оптимальні зусилля затиску та здійснено перевірку точності установки. Розрахунки підтвердили, що похибка не перевищує допустимих значень, що забезпечує необхідну точність обробки та надійність роботи пристосування в умовах виробництва.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

4.1. Характеристика умов праці на підприємствах машинобудівної галузі: небезпечні і шкідливі виробничі фактори

Машинобудівна галузь є однією з провідних складових промислового комплексу, що характеризується різноманітністю технологічних процесів, використанням складного обладнання, механізмів та інструментів [1, 3, 7]. Виробнича діяльність на підприємствах машинобудування пов'язана з впливом на працівників значної кількості небезпечних і шкідливих виробничих факторів [10], які можуть негативно впливати на стан здоров'я, працездатність та безпеку персоналу [12].

Відповідно до класифікації виробничих факторів, небезпечні та шкідливі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні [10]. Для машинобудівних підприємств найбільш характерними є фізичні та хімічні фактори. До фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів належать рухомі машини та механізми, рухомі частини виробничого обладнання, транспортні засоби, підйомно-транспортні механізми, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, підвищений рівень шуму та вібрації, несприятливі параметри мікроклімату, недостатня або надмірна освітленість робочих місць. Особливу небезпеку становлять верстати токарної, фрезерної, свердлильної та шліфувальної груп [1], під час роботи яких існує ризик травмування внаслідок контакту з рухомими елементами обладнання або викиду металевої стружки.

Шум є одним із найбільш поширених шкідливих факторів у машинобудуванні. Його джерелами виступають металорізальні верстати, компресорні установки, ковальсько-пресове обладнання, вентиляційні

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

системи та інші механізми. Тривалий вплив шуму високої інтенсивності може призводити до погіршення слуху, підвищеної втомлюваності, зниження концентрації уваги та професійних захворювань [12].

Значний вплив на організм працівників має виробнича вібрація, яка виникає під час роботи ручного механізованого інструменту, пресового обладнання та верстатів. Тривалий вплив вібрації може спричиняти порушення функціонування нервової, серцево-судинної та опорно-рухової систем людини.

До хімічних виробничих факторів [20] належать аерозолі металів, зварювальний дим, пари мастильно-охолоджувальних рідин, розчинників, фарб та лаків. У процесах механічної обробки металів, зварювання, фарбування та термічної обробки деталей у повітря робочої зони можуть потрапляти шкідливі речовини, здатні викликати захворювання органів дихання, алергічні реакції та професійні інтоксикації [20].

Важливе значення мають також психофізіологічні фактори [10]. Робота на машинобудівних підприємствах часто пов'язана з підвищеною відповідальністю, необхідністю тривалого зосередження уваги, виконанням монотонних операцій, значними фізичними навантаженнями та роботою у вимушених позах. Такі умови можуть спричиняти розвиток професійної втоми, зниження продуктивності праці та підвищення ризику виробничого травматизму.

З метою забезпечення безпечних умов праці на машинобудівних підприємствах необхідно впроваджувати комплекс організаційних та технічних заходів. До них належать модернізація виробничого обладнання, автоматизація небезпечних технологічних процесів, використання ефективних систем вентиляції та освітлення, застосування засобів колективного та індивідуального захисту, проведення інструктажів і навчання працівників з питань охорони праці.

Таким чином, умови праці на підприємствах машинобудівної галузі

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеризуються наявністю численних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які потребують постійного контролю та впровадження ефективних заходів щодо збереження здоров'я працівників і запобігання виробничому травматизму.

4.2. Завдання системи цивільного захисту на підприємстві

Система цивільного захисту на підприємстві є складовою загальнодержавної системи цивільного захисту [12] та спрямована на забезпечення безпеки працівників, збереження матеріальних цінностей і підтримання стійкого функціонування об'єкта господарювання в умовах надзвичайних ситуацій природного, техногенного, соціального та воєнного характеру. Основною метою цивільного захисту на підприємстві є запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, мінімізація їх негативних наслідків, захист життя і здоров'я персоналу, а також організація ефективного реагування на можливі загрози.

До основних завдань системи цивільного захисту [12] на підприємстві належать:

- забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту на рівні підприємства;
- здійснення комплексу організаційних, інженерно-технічних та профілактичних заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
- прогнозування та оцінювання ризиків виникнення аварій, катастроф, пожеж та інших небезпечних подій;
- організація спостереження і контролю за станом виробничого середовища, потенційно небезпечними об'єктами та технологічними процесами;
- своєчасне оповіщення працівників про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації та інформування про порядок подальших дій;

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- організація евакуаційних заходів у разі виникнення загрози життю та здоров'ю працівників;
- забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту відповідно до характеру можливих небезпек;
- облаштування укриття для персоналу в захищених спорудах або інших безпечних місцях;
- проведення заходів щодо підвищення стійкості роботи підприємства в особливий період та в умовах надзвичайних ситуацій;

Особливої актуальності система цивільного захисту набуває в умовах воєнного стану, коли значно зростає ризик виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із ракетними обстрілами, повітряними атаками, руйнуванням об'єктів критичної інфраструктури та порушенням виробничих процесів. У таких умовах підприємство повинно забезпечувати постійне функціонування систем оповіщення, наявність планів реагування на надзвичайні ситуації, готовність захисних споруд та проведення регулярних тренувань персоналу.

Ефективне виконання завдань цивільного захисту забезпечується завдяки чіткій взаємодії адміністрації підприємства, служби охорони праці, спеціалізованих формувань цивільного захисту та всіх працівників. Важливе значення має своєчасне планування заходів цивільного захисту, забезпечення необхідними матеріальними ресурсами та постійне вдосконалення системи реагування на надзвичайні ситуації.

Отже, система цивільного захисту на підприємстві виконує комплекс взаємопов'язаних завдань, спрямованих на попередження надзвичайних ситуацій, захист працівників і матеріальних цінностей, а також забезпечення безперервності виробничої діяльності в умовах виникнення небезпечних подій.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

4.3. Характеристика машинобудівного підприємства як джерела техногенної небезпеки

Особливістю машинобудівного виробництва є виконання широкого спектра технологічних операцій, серед яких механічна обробка металів, зварювання, термічна обробка, лиття, фарбування та складання готової продукції. Кожен із зазначених процесів супроводжується певними ризиками виникнення аварій, пожеж, вибухів або викидів небезпечних речовин.

Основними джерелами техногенної небезпеки [10] на машинобудівному підприємстві є виробниче обладнання та технологічні установки. До них належать металорізальні верстати, пресове обладнання, вантажопідіймальні механізми, компресорні установки, електрообладнання, системи газопостачання та вентиляції. Порухення правил експлуатації або виникнення технічних несправностей можуть стати причиною аварій, травмування працівників та значних матеріальних збитків.

Одним із найбільш небезпечних факторів є використання електричної енергії [12]. Наявність великої кількості електроустановок та силового обладнання підвищує ризик ураження електричним струмом, виникнення коротких замикань і пожеж. Особливу небезпеку становлять аварії в системах електропостачання, які можуть призвести до зупинки виробництва та виходу з ладу технологічного обладнання.

Важливим джерелом техногенної небезпеки є процеси зварювання та різання металів. Під час виконання цих робіт утворюються високі температури, іскри, розплавлений метал та шкідливі гази. Недотримання вимог пожежної безпеки може спричинити займання горючих матеріалів і виникнення пожеж. Додаткову небезпеку становлять балони зі стисненими газами та системи газопостачання, аварії на яких можуть супроводжуватися вибухами та руйнуваннями.

До потенційно небезпечних виробничих процесів [19] належить також експлуатація вантажопідіймальних кранів, кран-балок, автотранспорту та

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

іншого транспортного обладнання. Порушення технології виконання вантажно-розвантажувальних робіт може призвести до падіння вантажів, пошкодження обладнання та травмування працівників.

Крім безпосередньої загрози для персоналу, машинобудівні підприємства можуть бути джерелом негативного впливу на навколишнє середовище. У процесі виробництва утворюються промислові відходи, стічні води, викиди пилу та газоподібних речовин. У разі виникнення аварійних ситуацій масштаби такого впливу можуть суттєво збільшуватися.

В умовах воєнного стану рівень техногенної небезпеки машинобудівних підприємств додатково зростає через можливість пошкодження виробничих будівель, енергетичних систем, складів паливно-мастильних матеріалів та інших об'єктів унаслідок бойових дій. Такі події можуть спричинити масштабні пожежі, руйнування виробничих споруд та вторинні техногенні аварії.

Для зниження рівня техногенної небезпеки на машинобудівних підприємствах необхідно забезпечувати належний технічний стан обладнання, здійснювати постійний контроль за дотриманням вимог охорони праці та пожежної безпеки, проводити навчання персоналу діям у надзвичайних ситуаціях, а також впроваджувати сучасні системи моніторингу та аварійного захисту [20].

4.4. Інженерно-технічні заходи забезпечення техногенної безпеки

Техногенна безпека передбачає створення таких умов функціонування виробничих об'єктів, за яких ризик виникнення аварій, пожеж, вибухів та інших надзвичайних ситуацій зводиться до мінімально можливого рівня. Важливу роль у досягненні цієї мети відіграє комплекс інженерно-технічних заходів [12, 19], спрямованих на попередження аварійних ситуацій та зменшення їх можливих наслідків.

Важливим напрямом є забезпечення надійності виробничого

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

обладнання шляхом проведення планово-попереджувальних ремонтів, технічного обслуговування та періодичної діагностики його технічного стану. Своєчасне виявлення дефектів, зношення деталей та порушень у роботі механізмів дозволяє запобігти виникненню аварійних ситуацій і продовжити термін безпечної експлуатації обладнання.

Для попередження аварій на інженерних мережах підприємства застосовуються системи автоматичного контролю [18] та захисту. Такі системи забезпечують безперервний моніторинг параметрів роботи електричних мереж, газового господарства, компресорних установок, вентиляційних систем та іншого обладнання. У разі виникнення небезпечних відхилень автоматичні пристрої здійснюють аварійне відключення обладнання або подають сигнал тривоги персоналу.

Особлива увага приділяється забезпеченню пожежної безпеки. Для цього виробничі приміщення обладнуються автоматичними системами пожежної сигналізації, установками пожежогасіння, системами димовидалення та внутрішнього протипожежного водопроводу. На території підприємства передбачаються пожежні проїзди, джерела протипожежного водопостачання та необхідна кількість первинних засобів пожежогасіння.

Ефективним інженерно-технічним заходом є облаштування систем вентиляції та кондиціонування повітря [12]. Вони забезпечують видалення шкідливих газів, пилу, аерозолів та надлишкового тепла із виробничих приміщень, підтримуючи нормативні параметри мікроклімату та концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Важливим елементом забезпечення техногенної безпеки є впровадження інженерного захисту будівель і споруд. До таких заходів належать підвищення вогнестійкості конструкцій, встановлення протипожежних перегородок, посилення несучих елементів будівель, захист від блискавки та створення систем аварійного електроживлення.

З метою мінімізації наслідків можливих аварій на підприємстві

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробляються плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій, визначаються безпечні маршрути евакуації персоналу, встановлюються системи оповіщення та інформаційні засоби навігації. У виробничих приміщеннях розміщуються схеми евакуації та знаки безпеки відповідно до чинних нормативних вимог.

У сучасних умовах особливого значення набуває забезпечення стійкості функціонування підприємства в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних загроз. Для цього створюються резервні джерела електропостачання, запаси матеріально-технічних ресурсів, дублюючі системи зв'язку та управління виробничими процесами.

Таким чином, інженерно-технічні заходи забезпечення техногенної безпеки являють собою комплекс взаємопов'язаних рішень, спрямованих на попередження аварій, зменшення ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій та мінімізацію їх наслідків. Їх впровадження є необхідною умовою безпечного функціонування машинобудівного підприємства, збереження життя і здоров'я працівників та захисту навколишнього середовища.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній випускній кваліфікаційній роботі вдосконалено процес виробництва корпусу підп'ятника карусельного верстата з обґрунтуванням його технологічно-конструкторської ефективності.

У першому розділі визначено службове призначення корпусу підп'ятника та проаналізовано конструкцію механізму його регулювання. Проведено аналіз поверхонь деталі та розрахунок розмірних ланцюгів для забезпечення точності і взаємозамінності, що дозволяє спростити виготовлення та підвищити ефективність виробничого процесу.

У технологічному проведено аналіз конструкції деталі та її технологічності, обґрунтовано вибір заготовки, визначено технологічні бази та розроблено маршрут механічної обробки. Для кожної операції підібрано необхідне обладнання, різальний і вимірювальний інструмент, а також спеціальні пристосування. Розраховано режими різання та норми часу на виконання основних технологічних операцій. Запропонований технологічний процес забезпечує досягнення заданих вимог щодо точності, шорсткості поверхонь і продуктивності виготовлення деталі.

В конструкторському розділі спроектовано спеціальне верстатне пристосування із проведеними розрахунками сил затиску заготовки, елементів пристосування на міцність та точність.

У розділі охорона праці проаналізовано умови праці на машинобудівних підприємствах, виділено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Запропоновано основні інженерно-технічні заходи для забезпечення безпечних умов праці. Запровадження таких заходів дозволяє мінімізувати ризики травматизму та аварій, зберегти життя і здоров'я персоналу та підвищити безпеку виробничого процесу.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Marchuk, V., et al. Simulation of dimensional accuracy in an automated grinding system of surfaces of rotation. Перспективні технології та прилади, Випуск 14, 2019. С.82-87.
2. Redko, R., et al. Investigation of Cutting Force During Boring of Screw Non-Rigid Machine Parts. Modern Technologies in Mechanical Engineering and Transport. 2023. Vol 20(1). P. 26–32. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v1i20.1030>.
3. Suk-Hwan Suh, Seong-Kyoon Kang, Dae-Hyuk Chung, Ian Stroud Theory and Design of CNC Systems. Springer-Verlag London Limit., 2008. 477 p.
4. Taras Chetverzhuk, Oleg Zabolotnyi, Viktor Sychuk, Roman Polinkevych and Anatolii Tkachuk. A Method of Body Parts Force Displacements Calculation of Metal-Cutting Machine Tools Using CAD and CAE Technologies. Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC), Print ISSN: 2516-0281, Online ISSN: 2516-029X, pp. 37-47, Vol. 3, No. 4, 1st October 2019, Published by International Association of Educators and Researchers (IAER), DOI: 10.33166/AETiC.2019.04.004, Available: <http://aetic.theiaer.org/archive/v3/v3n4/p4.html>.
5. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : навчальний посібник / С. Г. Бондаренко – Львів : Магнолія, 2018. – 500 с.
6. Бочков В.М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник. / В.М. Бочков, Р.І. Сілін, О.В. Гаврильченко. За ред. Р.І. Сіліна. – Львів: Видавництво «Бескид Бід», 2008. – 448с.
7. Бурек Я. Верстатне обладнання : навч. посіб. / Я. Бурек, І.В. Гурей, З.А. Стоцько – Львів: Вид-во ун-ту «Львівська політехніка», 2014. – 168 с.
8. Валецький Б.П., Четвержук Т.І., Єрьомін В.А., Шимчук С.П. Інжиніринг планетарного редуктора у SolidWorks. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2025. №81. – С. 127-132. DOI:

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

<https://doi.org/10.36910/775.24153966.2025.81.19>.

9. Дмитрієв Ю.О., Мацулевич О.Є., Щербина В.М., Холодняк Ю.В. Проектування керуючих програм для верстатів токарної групи з пристроєм числового програмного керування: навчальний посібник. – Мелітополь: Люкс 2018. – 132 с.

10. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять.

11. ДСТУ 8981:2020. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічну обробку.

12. ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT) Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування.

13. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях): навч. посіб. / Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, С.В. Марченко. Суми: СумДУ, 2020. – 163 с.

14. Оптимізація технологічних процесів галузі: підручник / А.М. Дорохович, В.В. Дорохович, Т.В. Зінченко. – Київ: Інкос, 2016. – 392 с.

15. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Репінський С.В. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 106 с.

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

17. Теорія різання. Лезове та абразивне оброблення металів: навчальний посібник/ І. Є. Грицай. – Львів : Львівська політехніка, 2018. – 232 с.

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

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

19. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.

20. Тимочко В.О., Березовецький А.П., Городецький І.М., Мазур І.Б., Ковальчук Ю.О., Сафонов С.А., Стефанишин В.Ю. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Навч. Посіб. Львів: Сполом. 2022. – 410 с.

21. Четвержук Т.І. Проблеми та задачі проектування та розрахунку несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням навантажень. / Т.І. Четвержук, Р.Г. Редько, Р.М. Полінкевич, О.М. Залета, Б.П. Валецький. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2022. №73. – С. 101-104. DOI: <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2022.73.15>.

22. Четвержук Т.І. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів./ Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Залета О.М., Склярів Р.А. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2021. №71. – С. 322-329. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775.24153966.2021.71.47>.

23. Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М. Методичні рекомендації до написання кваліфікаційної роботи за ступенем вищої освіти «бакалавр»: методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи», спеціальності 131 Прикладна механіка, галузі знань 13 Механічна інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 44 с.

24. Ярошевич М.П. Теорія механізмів і машин. Навчальний посібник. Луцьк.: ЛНТУ, 2019. 238с.

					045Б – 026.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		