

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Технологічна підготовка виробництва циліндра
низького тиску поршневого компресора»

КРБ.133ГМбд_31[2].12.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 *«Галузеве*
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_31[2]
ЦЕСЛЯ Андрій

Керівник: докт. техн. наук, професор
САЙЧУК Олександр

Полтава – 2025 року

ВСТУП

Поршневі компресори широко використовуються у сільському господарстві завдяки своїй надійності, простоті конструкції та здатності створювати високий тиск. Їх застосування охоплює безліч завдань, а саме:

1) пневматичні системи управління та автоматизації (використовуються для роботи пневматичних механізмів у зернозасихувачах, на фермах та у теплицях, керують системами подачі кормів та добрив);

2) очищення та вентиляція (забезпечують продування зерна та насіння перед зберіганням, а також використовуються у системах очищення повітря у тваринницьких комплексах);

3) зрошення та захист рослин (застосовуються для розпилення пестицидів та добрив за допомогою компресорних обприскувачів, у краплинному поливі, якщо система потребує тиску повітря);

4) доїльне обладнання (вакуумні системи для доїння корів та інших тварин часто працюють на основі поршневих компресорів);

5) зберігання та переробка сільгосппродукції (підтримка тиску в пневмотранспортерах зерна та кормів, в лініях упаковки та фасування продукції);

6) обслуговування техніки та майстерні (робота пневматичного інструменту у ремонтних майстернях, очищення та продування фільтрів, тракторів, комбайнів та іншого обладнання).

Отже, поршневі компресори підходять для сільського господарства через їх доступність, простоту обслуговування та здатність працювати у важких умовах. Однак, їх недоліками є високий рівень шуму, знос деталей та необхідність регулярного технічного обслуговування [32].

Мета роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки виробництва із забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є компресор поршневий, а **предметом** – конструкторсько-технологічні аспекти забезпечення процесів виготовлення циліндру низького тиску.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **завдання**:

- проаналізувати службове призначення вузла, здійснити аналіз точності, охарактеризувати конструкторський матеріал, що застосовуються для виготовлення деталі, а також визначити тип виробництва на підставі річної програми запуску виробу;

- здійснити відпрацювання на технологічність вузла та деталі, запропонувати маршрут обробки поверхонь деталі, а також визначити припуски та операційні розміри відомими методами;

- сконструювати затискне пристосування для реалізації процесу механічної обробки, а також визначити зусилля затиску, розрахувати параметри силового приводу, здійснити розрахунок слабкої ланки;

- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки деталі, а також запропонувати заходи із точки зору охорони праці та захисту довкілля;

- розробити комплект технічної документації для забезпечення потреб підприємств галузевого машинобудування.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Службове призначення виробу

На розгляд вноситься компресор ПК-3,5А (рисунок 1.1, таблиця 1.1). Призначений для отримання стиснутого повітря і постачання його до кінцевих споживачів. Тип компресора – V-подібний, двоступеневий з повітряним охолодженням, поршневий 4^х рядний.

Поршневий компресор складається із двох частин, а саме циліндру та встановленого в ньому поршня із кривошипно-шатунним механізмом. Поршень щільно прилягає до стінок циліндру. Рухається до верхньої та нижньої точок. У нижній точці циліндру відбувається процес стискання повітря. Щоб повітря потрапляло та вільно виходило з циліндру, на ньому встановлено впускний та випускний клапани. Перевагами поршневого насосу окрім простоти та незначної вартості є можливість роботи за важких погодних умов. Але через те, що поршень щільно прилягає до циліндра, температура дуже швидко зростає та довготривале використання залишається проблематичним. Звісно, використовують різноманітні радіатори та системи охолодження, але для виробництва значних об'ємів повітря вони не допоможуть. У наш час виникає тенденція вже замінювати поршневі компресори на удосконалені гвинтові конструкції.

а)

Рисунок 1.1 Компресор ПК-3,5А, аркуш 1: а – вид загальний

б)
Рисунок 1.1 – Компресор ПК-3,5А, аркуш 2: б – конструктивна схема:

1 – поршень циліндру низького тиску; 2 – маслознімні кільця; 3 – компресійні кільця; 4 – фільтр; 5 – циліндр низького тиску; 6 – клапанні пластини; 7 – запобіжний клапан; 8 – хмелдильник; 9 – палець поршня циліндру високого тиску; 10 – циліндр високого тиску; 11 – вентилятор; 12 – нає; 13 – сапун; 14 – насос масляний; 15 – корпус; 16 – балансир; 17 – підшипник кульковий; 18 – пробка слизна; 19 – вал колінчастий; 20 – поршень циліндру високого тиску; 21 – шатун поршня циліндру високого тиску; 22 – шуп; 23 – нагрівальний елемент; 24 – втулка; 25 – шатун поршня циліндру низького тиску

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика вузла

Назва параметра	Величина
1	2
Продуктивність, м ³ /хв	3,5
Тиск, МПа	0,7
Частота обертання колінчастого валу, об/хв.	1470

Продовження таблиці 1.1

1	2
Потужність, кВт	22,0
Кількість оливи, л	5,5
Габаритні розміри, м	650×750×760
Маса, кг	215

Деталлю, що виноситься на детальний розгляд, є циліндр низького тиску (рисунок 1.2)

Рисунок 1.2 – Циліндр низького тиску

Він має порожнину, в якій проводиться стиск повітря на першій ступені. У внутрішній циліндричній поверхні виконується стиск повітря за допомогою поршня з кільцями. Кишеня виконана, щоб проводити всмоктування зовнішнього повітря. Отвори з різьбою та без різьби призначені для закріплення деталі на корпусі.

1.2 Аналіз параметрів точності

При проведенні аналізу параметрів точності деталі заповнюємо таблицю 1.2 (рисунок 1.3), у якій наведені дані про точність виготовлення та якість обробки [3, 9, 11, 13, 18, 21, 25, 29, 40, 47, 48].

Таблиця 1.2 – Аналіз параметрів точності деталі

№ пов.	Назва поверхні (елементу)	Виміри з відхиленням	Квалітет точності	Точність		Шорст., Ra, мкм
				Форми	Розташування	
1	2	3	4	5	6	7
1	Торець	181 ^{+0,15}	10	0,05	-	1,6
2	Торець	208 ^{+0,5}	14	-	-	12,5
3	Фланець	181 ^{+0,15}	10	0,05	Ж	1,6
4	Кишеня	10×2 R40	IT14/2	-	-	6,3
5	Циліндрична	Ø14 ^{+0,060 +0,018}	7	0,021	(0,03/100)Ж	0,63
6	Різьба метрична	M12	6H	-	-	1,6
7	Циліндрична	Ø14	IT14	-	-	12,5

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7
8	Циліндрична	$\varnothing 150_{-0,395}^{-0,145}$	d11	-	-	3,2
9	Фаска	$3 \times 45^\circ$	$\pm IT14/2$	-	-	12,5
10	Міжосьова відстань	$190 \pm 0,3$	$\pm IT8/2$	-	-	-
11	Міжосьова відстань	$132 \pm 0,3$	$\pm IT8/2$	-	-	-
12	Міжосьова відстань	$132 \pm 0,26$	$\pm IT8/2$	-	-	-
13	Міжосьова відстань	$132 \pm 0,25$	$\pm IT8/2$	-	-	-

Обрана деталь має циліндричну форму і за прийнятою класифікацією відноситься до класу «порожні циліндри». Має осьовий отвір високої точності та чистоті. На одному фланці деталі просвердлені чотири отвори з нарізаною в них метричною різьбою. На відстані 27 мм від іншого торця, у фланці, просвердлені чотири отвори. Зі сторони першого торця виконується кишеня.

Рисунок 1.3 – Аналіз параметрів точності, аркуш 1

Рисунок 1.3 – Аналіз параметрів точності, аркуш 2

Провівши аналіз якості виконання поверхонь деталі, маємо, що найточніший розмір у поверхні № 5 – $\varnothing 140$. Найнижча шорсткість $Ra=0,63$ мкм (поверхня 5). Деталь може бути порівняно легко виготовлена у заводських умовах.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, сатінник

Основною особливістю мікроструктури сірого чавуну, яка визначає фізико-механічні і службові властивості, є наявність пластинчатого графіту.

Пластинчатий графіт порушує суцільність металічної основи, і тому сірий чавун має порівняно невисоке значення тимчасового опору на розрив при розтягненні і дуже низьку пластичність. Але завдяки пластинчатому графіту в сірому чавуні унікально поєднуються добрі антифрикційні якості, висока зносостійкість, низька чутливість до концентраторів напружень. Сірий чавун має високу демпфуючу здатність і добре гасе вібрації [24, 37]. Сірий чавун – технологічний матеріал. Його розплави володіє високою текучістю у рідкому стані, малою схильністю до утворення усадочних порожнин порівняно з іншими типами чавунів. З нього можливо виготовити виливки найскладнішої конфігурації.

Оброблюваність і режими обробки сірого чавуну суттєво залежать від мікроструктури: кількості, розмірів, розподілу включень графіту, кількості фериту (перліту) в матриці. З підвищенням міцності і твердості чавуну включення графіту стають дрібніші, кількість їх зменшується. Матриця містить менше фериту і стає

чисто перлітною, в результаті чого оброблюваність погіршується. Включення фосфідної евтектики і, особливо, евтектичного цементиту також погіршують оброблюваність. Високі вмісні сірі чавуни марок СЧ 15, СЧ 20 мають переважно перлітну структуру (не більше 10% фериту), а також СЧ 25 і вище – тільки перлітну. З цих чавунів виготовляють: впускні та випускні трубопроводи двигунів, блоки циліндрів, маховики, гільзи циліндрів, циліндри гідрогальм і зчеплень та ін.

Хімічний склад і механічні властивості матеріалів зводимо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад матеріалу деталі

Марка матеріалу	Хімічний склад, %	Механічні властивості
1	2	3
СЧ15	C=3,5÷3,7%; Si=2,0÷2,4%; Mn=0,5÷0,8% P=0,2%; S=0,15%	$\sigma_{в}$ =150-200 МПа; $\sigma_{зг}$ =360-460 МПа; КС=10 кДж/м ² ; $\sigma_{ст}$ =650 МПа; $\tau_{зр}$ =150МПа.
СЧ 20	C=3,3÷3,5%; Si=1,4÷2,2%; Mn=0,7÷1,0% P=0,2%; S=0,15%	$\sigma_{в}$ =200-250 МПа; $\sigma_{зг}$ =440-520 МПа; КС=20 кДж/м ² ; $\sigma_{ст}$ =800 МПа; $\tau_{зр}$ =200МПа.
СЧ 25	C=3,2÷3,4%; Si=1,4÷2,2%; Mn=0,7÷1,0% P=0,2%; S=0,15%	$\sigma_{в}$ =250-300 МПа; $\sigma_{зг}$ =490-580 МПа; КС=40 кДж/м ² ; $\sigma_{ст}$ =950 МПа; $\tau_{зр}$ =250МПа.

Можливе використання будь-якої марки чавуну, але зупинимось саме на СЧ 20. На матеріалі, який призначив конструктор.

1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку в деталях циліндра низького тиску у кількості 1000 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

$$N_{\text{зан}} = (N_{\text{вип}} + N_{\text{зч}}) \cdot (1 + k_{\text{бр}}), \quad (1.1)$$

де $N_{\text{вип}}$ – річна програма випуску виробів, шт.;

$N_{\text{зч}}$ – кількість виробів, що йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5% від програми випуску, тис. од;

$k_{\text{бр}}$ – коефіцієнт, що враховує технологічні витрати, які неможливо уникнути.

Приймаємо рівним 2-3% від сумарної кількості виробів, що формують програму випуску та йдуть на запчастини.

$$N_{\text{зан}} = (1000 + 0,04 \cdot 1000) \cdot (1 + 0,025) = 1066 \text{ (шт.)}$$

Максимальна маса оброблених заготовок деталей вузла не перевищує 20 кг, тому за [34] визначаємо тип виробництва – середньосерійний.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Технологічність виробів (деталей) оцінюють на двох рівнях – якісному і кількісному [23]. Якісну оцінку технологічності деталей проводять по матеріалу, геометричній формі, якості поверхонь, по проставлених розмірах і можливих способах виготовлення заготовки. Кількісну оцінку проводять по абсолютних і відносних показниках. У першу чергу встановлюють показники базової деталі та деталі, що розглядається: коефіцієнт використання матеріалу, точність обробки, шорсткість поверхонь та ін. У даному розділі розглянемо геометричну форму та зручність обробки. Конструкція деталі є технологічною коли вона відповідає усім технічним та експлуатаційним вимогам і коли на неї витрачається мінімальна кількість суспільної праці. В автоматизованому виробництві вимоги до технологічності базуються на таких самих вимогах, що і вимоги до виготовлення на універсальному обладнанні. Основні та спеціальні вимоги до технологічності деталі в умовах автоматизованого виробництва зводимо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність деталі

№ з.п.	Показники вимог до технологічності	Висновки за показниками	Зауваження з поліпшення технологічності
1	2	3	4
1	Наявність зручних баз, що забезпечують необхідну орієнтацію та надійне закріплення заготовки	Так, технологічно	Закріплення на оправці (зовнішня) або встановлення у пристосування (внутрішня).

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
2	Чи необхідні додаткові ребра жорсткості?	Так, не є технологічним	Уникнути не можливо
3	Наявність глухих отворів?	Ні, технологічно	-
4	Наявність отворів глибиною більше 8d?	Ні, технологічно	-
5	Чи можлива, багатошпindelна та багато- інструментальна обробка?	Так, технологічно	-
6	Чи є внутрішні торці, які необхідно оброблювати?	Ні, технологічно	-
7	Чи є скоси або пази під кутами, відмінними від 45°?	Ні, технологічно	-
8	Чи наявні отвори, неперпендикулярні поверхні?	Ні, технологічно	-
9	Чи є в конструкції деталі з різьби, менші М6?	Ні, технологічно	-
10	Яка точність литва заготовки?	Достатня, технологічно	5 клас точності виправка
11	Чи від однієї бази проставлені розміри?	Так, технологічно	-
12	Чи достатній радіус кишені?	Так, технологічно	Використовуємо фрезу Ø80 мм
13	При свердлінні забезпечений нормальний вхід і вихід інструмента?	Так, технологічно	-

Зробивши огляд ознак технологічності деталі, робимо висновок про придатність деталі для умов автоматизованого серійного виробництва.

2.2 Обробка поверхонь

Різні поверхні деталі виконують різні функції, тому вимоги до них найрізноманітніші: за точністю, шорсткістю та іншими критеріями [3, 6, 9, 11, 13, 18, 21]. Кількість ступенів обробки визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_z}{T_d} = \frac{T_1}{T_1} \cdot \frac{T_2}{T_2} \cdot \frac{T_3}{T_3} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_{n-1}}{T_d} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n = \prod_i^n \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

де ε – загальне значення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

P – число ступенів обробки;

T_z, T_d, T_i – відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ступеня обробки.

Розкладаючи загальне значення на співмножники, потрібно врахувати типові рекомендації: для першого ступеня чорнорезної обробки досяжними є величини уточнення $\varepsilon < 6$; для проміжних ступенів напівчистої обробки $\varepsilon = 3 \dots 4$; для ступенів чистої обробки $\varepsilon = 1,5 \dots 2$.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу:

$$n_p = \lg(\varepsilon) / 0,46. \quad (2.2)$$

Приклад, для обробки поверхні $\varnothing 181^{+0,15}$ мм. Допуск за креслеником 0,15 мм, допуск заготовки – 1,15 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{1,15}{0,15} = 7,7.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 7,7}{0,46} \approx 2.$$

Отже, необхідно передбачити не менше 2 етапів обробки для даної поверхні.

Пропонуємо наступні обробки поверхонь деталі (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Методи обробки поверхонь деталі

Позначення поверхні	Квалітет за кресленням	Допуск за кресленням, мкм	Шорсткість Ra за кресленням	Допуск заготовки, мкм	Квалітет заготовки	Загальне уточнення	Можливі маршрути обробки поверхонь		Квалітет після обробки	Досягнутий допуск, мкм	Коефіцієнт уточнення	Загальне уточнення
							Номер маршруту	Перехід МОП				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	10	150	1,6	1150	14	7,68	1	Фрезерування чорнове	11	290	4	7,68
								Фрезерування чистове	10	150	1,92	
								Підрізання чорнове	11	290	4	7,68
								Підрізання чистове	10	150	1,92	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	14	1000	12,5	1150	14	1,15	1	Фрезерування	14	1000	1,15	1,15
							2	Підрізання	14	1000	1,15	1,15
3	16	150	1,6	1150	14	7,67	1	Фрезерування чорнове	11	290	4	7,68
								Фрезерування чистове	10	150	1,92	
							2	Підрізання чорнове	11	290	4	7,68
								Підрізання чистове	10	150	1,92	
4	14	360	6,3	360	14	1	1	Фрезерування	14	360	1	1
5	7	42	0,63	1000	14	24	1	Розточування	12	400	2,5	24
								Розточування	10	160	2,5	
								Алмазне розточування	9	100	1,6	
								Хонінгування	8	63	1,6	
							2	Хонінгування	7	42	1,5	24
								Розточування	12	400	2,5	
								Розточування	10	160	2,5	
								Шліфування	9	100	1,6	
								Шліфування	8	63	1,6	
								Хонінгування	7	42	1,5	
7	14	430	12,5	430	14	1	1	Свердління	14	430	1	1

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	11	250	3,2	1000	14	4	1	Чорнове	12	400	2,5	4
								точіння				
								Напівчистове	11	250	1,6	
								точіння				
2	Чорнове	12	400	2,5	4							
	точіння											
Шліфування	11	250	1,6									
				Точіння		14	250	1	1			
9	14	250	12,5	250	14	1	1	Точіння	14	250	1	1

Загальний висновок: при виборі методів обробки кожної поверхні деталі, будемо керуватися показниками собівартості обробки та збільшенням якості оброблених поверхонь.

2.3 Вибір схем базування

Призначення баз є одним із найскладніших розділів проектування технологічних процесів механічної обробки. Вибір схем базування будемо згідно з послідовністю виконання обробки, дотримуючись принципів єдності та сталості баз.

На рисунку 2.1 деталь базується необробленим отвором $\varnothing 135$ (подвійна напрямна база, опорні точки 1, 2, 3, 4), площиною (опорна база, опорна точка 5) Закріплення здійснюється за допомогою клинкової оправки.

На рисунку 2.2 деталь базується на чисто обробленою зовнішньою циліндричною поверхнею (подвійна опорна база, опорні точки 4 і 5), торцем (установочна база, опорні точки 1, 2, 3) і на третій поверхні (опорна база, опорна точка 6). Закріплення здійснюється за допомогою лещат пристосування.

Рисунок 2.1 – Схема базування для токарно-автоматної операції

Рисунок 2.2 – Схема базування для токарно-автоматної, алмазно-розточувальної та вертикально-свердильної операцій

Рисунок 2.3 – Схема базування для вертикально-свердильної операції

На рисунку 2.3 деталь начисто обробленою внутрішньою циліндричною поверхнею (подвійна опорна база, опорні точки 4 і 5), торцем (установочна база, опорні точки 1, 2, 3) і третьою поверхнею (опорна база, опорна точка 6). Закріплення здійснюється за допомогою затискачів пристосування.

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будуємо на підставі обраних маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Маршрут обробки деталі

Операція	Зміст переходів
1	2
Операція 005 Заготовельна	Литво в оболонковій формі
Операція 010 Термічна	Стабілізація розмірів
Операція 015 Токарно-автоматична	Чорнове точіння пов. 2, 3, 8. Чистове точіння пов. 3, 8 зі зняттям фаски 9 на токарно-копіювальному напівавтоматі мод. 5PK63
Операція 020 Токарно-автоматична	Чорнове підрізання пов.1 та розточування пов. 5. Напівчистове підрізання пов.1 та розточування пов.5. Чистове підрізання пов.1 на токарному 6 ^{ти} шпиндельному напівавтоматі, мод. 1B284.
Операція 025 контрольна	Перевірити якість литва і твердість циліндру
Операція 030 Слюсарна	Обрубати і зачистити поверхню циліндра від ливарних пригарів та інших дефектів в необроблювальних місцях.

Продовження таблиці 2.3

1	2
Операція 035 Алмазно-розточна	Чистове розточування пов.5 на алмазно-розточному верстаті, мод. 2А78Н.
Операція 040 Вертикально-свердлильна	Свердління отворів пов.7 на спеціальному вертикально-свердлильному верстаті, мод.2Г175БС.1785.
Операція 045 Вертикально-свердлильна	Свердління отворів пов.6. Зенкування фасок пов.6 Нарізання різьби пов.6 на спеціальному вертикально-свердлильному верстаті, мод. 2Н135БС1302.
Операція 050 Вертикально-фрезерна	Фрезерування ушпелі (пов.4) на вертикально-фрезерному верстаті, мод ВФПГ-42.
Операція 055 Хонінгувальна	Хонінгувати отвір пов.5 на хонінгувальному верстаті, мод. 3Г833.
Операція 060 Хонінгувальна	Хонінгувати отвір пов.5 на хонінгувальному верстаті, мод. 6Р84.
Операція 065 Слюсарна	Притупити гострі краї.
Операція 070 Мийна	Промити деталь.
Операція 075 Контрольна	Контроль точності виготовлення.

2.5 Визначення припусків на збробку та операційних розмірів

Як відомо, застосовуються два методи для визначення припусків на обробку: розрахунково-аналітичний та табличний [29, 40, 48]. Визначення припусків на

механічну обробку розрахунково-аналітичним методом проводимо для однієї найбільш точної поверхні. У нашому випадку це розмір $\varnothing 140_{(+0,018}^{+0,060)}$ мм.

Розрахункова формула для визначення припуску на обробку зовнішньої чи внутрішньої поверхонь обертання

$$2z_{i \min} = 2 \cdot (Kz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.3)$$

де Kz_{i-1} – висота мікронерівностей, мкм;

T_{i-1} – глибина дефектного шару на попередньому переході, мкм;

ρ_{i-1} – сумарні відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетину осей, позиційне) і у деяких випадках відхилення форми поверхні (відхилення від площинності, прямолінійності) на попередньому переході;

ε_i – похибка встановлення заготовки на переході, що виконується.

Правильність розрахунку перевіряється за формулою:

$$Z_{0 \max} - Z_{0 \min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}} \quad (2.4)$$

де $\delta_{\text{заг.}}$, $\delta_{\text{дет.}}$ – допуск заготовки та деталі відповідно.

Карта розрахунку припусків на обробку та граничні розміри по технологічних переходах наведені у таблиці 2.4.

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot z_{\max} - 2 \cdot z_{\min} = \delta_z - \delta_d; \quad (2.5)$$

$$6020 - 5060 = 1000 - 40;$$

$$960 = 960$$

Умова виконується.

Таблиця 2.4 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці $\varnothing 140\text{IT8 } (+0,018^{+0,060}) \text{ мм}$

Технологічний перехід	Елемент припуску, мкм				Розр. припуск $2Z_{\min}$ мкм	Розр. розмір, d_p , мм	До-пуск δ , мм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	R_z	T	Δ	ε				D_{\min}	D_{\max}	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Литве	40	260	15,4	-	-	134,98	1	134	135	-	-
Розточ. чорнове	35	50	91,5	250	2·1844	138,668	0,4	138,3	138,7	4300	3700
Розточ. чистове	20	20	61	250	2·351	139,37	0,16	139,21	139,37	910	670
Алмазне розточ.	5	10	30,5	250	2·297	139,964	0,1	139,9	140	690	630
Хонінг. поперед.	1,25	-	-	-	2·45,5	140,055	0,063	139,992	140,055	92	55
Хонінг. остаточ.	0,63	-	-	-	2·2,5	140,06	0,04	140,02	140,06	28	5
								Σ		6020	6060

Для наочності результати розрахунків зручно зобразити графічно (рисунок 2.4).

На решту поверхонь деталі припуски визначаємо табличним способом із використанням довідників. Конкретні значення припусків заносимо до таблиці 2.5.

Рисунок 2.4 – Графічна схема розташування припусків на обробку ступені валу $\varnothing 140IT8(+0,018^{+0,160})$ мм

Таблиця 2.5 – Припуски на механічно оброблювані поверхні деталей

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск, мм	Квалітет	Технолог. допуск
1	2	3	4	5	6
1	Торець $l=181$ мм	Чорнове подрізання	1,5	12	± 1
		Напівчистове подрізання	1	11	$\pm 0,26$
		Чистове подрізання	0,5	10	$+0,15$

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
2	Торець l= 208 мм	Гідрізання	3	14	±0,5
3	Торець l= 181 мм	Чорнове підрізання	2	11	±0,26
		Чистове гідрізання	1	10	±0,15
4	Фрезерування кишені l= 2 мм	Фрезерування	2	14	+0,25
8	Циліндрична Ø150 мм	Чорнове точіння	2	12	-0,87
		Чистове точіння	1	11	(-0,145 -0,395)

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для оптимізації механічної обробки деталі (токарно-копіювальна на автоматі 5PK63) розробимо конструкцію затискного пристосування, керуючись рекомендаціями [2, 36, 38, 39]. Складальний кресленик пристосування представлено у графічній частині роботи, а також на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне

Пристосування складається із наступних елементів: 1 – фланець; 2 – корпус; 3 – шток; 4 – стрижень; 5 – втулка; 6 – ролик; 7 – пружина кільцева; 8 – упор; 9, 10 – гвинт; 11 – пружина спіральної; 12 – пробка.

Пристосування являє собою клинову оправку із пневматичним приводом. При подачі стиснутого повітря в пневмоциліндр, відбувається рух штоку поршня, який з'єднаний зі стрижнем 4. Стержень має клинову поверхню і завдяки неї передає рух і зусилля затиску заготовки на 3 ролики. На цій 3 ролика рух і зусилля передається завдяки пружині 11, яка діє на втулку 5 з клинковою поверхнею. Заготовка фіксується

по внутрішній циліндричній поверхні (подвійна направляюча база), площиною (опорна база) і опорною прихованою базою.

Розроблена клинкова оправка є спеціальним пристроєм в серійному виробництві. Вона використовується тільки для закріплення циліндра низького тиску.

3.2 Розрахунок зусилля затиску та параметрів силового приводу

Визначимо силу, яка необхідна для затиску W деталі (рисунок 3.2) під час обробки деталі [7, 28, 12, 36, 38, 39].

Рисунок 3.2 – Розрахункова схема

При обробці заготовки окрім сил закріплення W на неї діють сили різання, моменти цих сил, сили тертя.

При великих значеннях P_x можуть додатково виникнути сили тертя між торцем заготовки та уступом на оправці, тому рівняння моментів набуде вигляд.

$$\sum M = 0: W \cdot z \cdot f_1 \cdot R + (P_x - W \cdot z \cdot f_1) \cdot f_2 \cdot R_1 - KM_{\text{різ}} = 0 \quad (3.1)$$

$$W_{\text{сум}} = W \cdot z = \frac{KM_{\text{різ}} - P_x f_1 R_1}{f_1 R - f_1 f_2 R_1} \quad (3.2)$$

де $W_{\text{сум}}$ – сумарна сила затиску, Н;

z – число роликів, об.

W – сила затиску одного ролика, Н;

R_1 – середній радіус площини контакту, 0,085 м;

R – радіус заготовки внутрішній, 0,068 м;

f_1 – коефіцієнт тертя між роликами та внутрішньою поверхнею циліндра, 0,45;

f_2 – коефіцієнт тертя між торцем та зовнішньою поверхнею розтискної оправки, 0,2;

$M_{\text{різ}}$ – момент різання від дії сили P_z :

$$M_{\text{різ}} = P_z \cdot R_{\text{різ}}, \quad (3.3)$$

Для визначення P_z розрахунок режимів різання проведемо для однієї з технологічних операцій (чорнове точіння $\varnothing 152$ довжиною 27 мм).

Глибина різання при точінні обчислюється за формулою:

$$t = 0,5 \cdot (D - d), \quad (3.4)$$

де D – діаметр заготовки, 156 мм;

d – діаметр після обробки, 152 мм;

$$t = 0,5 \cdot (156 - 152) = 2 \text{ (мм)}.$$

Подачу призначаємо $S = 0,3$ мм/об.

Швидкість різання при точінні розраховуємо за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^X \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (3.5)$$

де значення коефіцієнтів: $C_v = 292$; $X = 0,15$; $y = 0,2$; $m = 0,2$;

T – період стійкості $T = 45$ хв.

K_v – загальний коефіцієнт поправки на швидкість різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} \cdot K_{pi} \cdot K_{tc} \cdot K_{\varphi} \cdot K_{\varphi}^1, \quad (3.6)$$

де K_{mv} – коефіцієнт на оброблюваний матеріал:

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{n_v}, \quad (3.7)$$

де $HB = 241$ і $n_v = 1,25$.

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{241}\right)^{1,25} = 0,74;$$

K_{pv} – коефіцієнт стану поверхні заготовки, 0,85;

K_{iv} – коефіцієнт на інструментальний матеріал, 0,83;

K_{pi} – коефіцієнт зміни стійкості, 1;

K_{tc} – коефіцієнт зміни стійкості, 1;

K_{φ} – коефіцієнт, враховуючий головний кут в плані φ° , 0,7;

K_{φ}^1 – коефіцієнт, враховуючий допоміжний кут в плані φ_1° , 1,0;

$$k_v = 0,74 \cdot 0,85 \cdot 0,83 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 0,365.$$

Тоді швидкість різання при точінні буде:

$$V = \frac{292}{45^{0,2} \cdot 2^{0,75} \cdot 0,3^{0,2}} \cdot 0,365 = 57 \text{ (м/хв)}.$$

Визначимо сили різання:

$$P_{x,y,z} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (3.8)$$

$P_x: C_p = 46; x = 1; y = 0,4; n = 0.$

$P_y: C_p = 54; x = 0,9; y = 0,75; n = 0.$

$P_z: C_p = 92; x = 1; y = 0,75; n = 0.$

Загальний коефіцієнт поправки на силу різання:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{mr} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}, \quad (3.9)$$

де K_{mp} – коефіцієнт на оброблювальний матеріал:

$$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n, \quad (3.10)$$

де $HB = 241; n = 0,4.$

$$K_{mp} = \left(\frac{241}{190}\right)^{0,4} = 1,1;$$

$K_{\gamma p}, K_{\lambda p}$ – коефіцієнти враховуючі вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструмента:

$P_x: K_{\gamma px} = 1,17; K_{\lambda px} = 1,4; K_{\lambda px} = 1;$

$P_y: K_{\gamma py} = 0,5; K_{\lambda py} = 1,4; K_{\lambda py} = 1;$

$P_z: K_{\gamma pz} = 0,89; K_{\lambda pz} = 1,1; K_{\lambda pz} = 1;$

$$K_{px} = 1,1 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,8;$$

$$K_{py} = 1,1 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,77;$$

$$K_{pz} = 1,1 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,08.$$

Тоді складові сили різання при точінні будуть становити:

$$P_x = 10 \cdot 46 \cdot 2^1 \cdot 0,3^{0,4} \cdot 57^\circ \cdot 1,8 = 1023 \text{ (H)};$$

$$P_y = 10 \cdot 54 \cdot 2^{0,9} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 57^\circ \cdot 0,77 = 314 \text{ (H)};$$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 2^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 57^\circ \cdot 1,08 = 805 \text{ (H)}.$$

Отже,

$$M_{\text{різ}} = 805 \cdot 0,078 = 63 \text{ (H} \cdot \text{м)};$$

K – коефіцієнт запасу:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (3.11)$$

де K_0 – коефіцієнт гарантованого запасу,

$$K_0 = 1,5,$$

K_1 – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання внаслідок випадкових нерівностей поверхні, $K_1 = 1,2$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує затуплення ріжучого інструменту, $K_2 = 1$;

K_3 – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання при перервному різанні, $K_3 = 1,2$;

K_4 – коефіцієнт, що характеризує постійність сили закріплення. Для механізмів з пневмоприводом, $K_4 = 1,3$;

K_5 – коефіцієнт, що характеризує ергономіку ручних механізмів, $K_5 = 1$;

K_6 – коефіцієнт, що враховується тільки при наявності моментів, що повертають заготовку встановленою плоскою поверхнею на постійні опори. При встановленні заготовки на опорні пластини $K_6 = 1,5$.

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1,5 = 4,2$$

Отримуємо значення $W_{\text{сум}}$:

$$W_{\text{сум}} = (4,2 \cdot 63 - 1023 \cdot 0,18 \cdot 0,085) / (0,45 \cdot 0,068 - 0,45 \cdot 0,2 \cdot 0,085) = 10847,5 \text{ (Н)}.$$

Визначимо силу Q (ведучої ланки):

$$Q = W_{\text{сум}} \cdot \text{tg}(L + \varphi), \quad (3.12)$$

де $L = 8^\circ$ – кут нахилу клину;

$\varphi = 6^\circ$ – кут ковзання.

$$Q = 10847,5 \cdot \text{tg}(8 + 6) = 27040 \text{ (Н)}.$$

Сила на штоці пневмоциліндру чисельно дорівнює силі на ведучій ланці механізму.

Визначимо рух штоку, якщо рух роликів $S_w = 4,5$ мм.

$$S_p = \frac{S_w}{I_n}, \quad (3.13)$$

$$S_a = \frac{4,5}{\text{tg } 8^\circ} = 32 \text{ мм}.$$

Визначимо параметри пневмоприводу.

$$Q = P_b \frac{\pi D^2}{4} \eta - P_{\text{пр}}, \quad (3.14)$$

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{Q + P_{\text{пр}}}{P_b}}, \quad (3.15)$$

де $P_{\text{пр}}$ – сила опору стиснутої пружини, 385 Н;

P_b – тиск у пневмосистемі, $P_b = 0,6$ МПа.

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2704,6 + 385}{0,6}} \approx 81 \text{ (мм)}.$$

Приймаємо діаметр $D = 100$ мм.

Визначимо вихідну силу затиску:

$$Q = \frac{D^2 \cdot P_B}{1,28} \cdot P_{пр}, \quad (3.16)$$

$$Q = \frac{100^2 \cdot 0,5}{1,28} \cdot 385 = 4302,5 \text{ (Н)}.$$

3.3 Розрахунок слабкої ланки на міцність

На наш погляд слабкою ланкою в цьому пристосуванні є різьба М30.

Різьбу розраховуємо на напруження зриву:

$$\tau_{зр} \leq [\tau]_{зр}, \quad (3.17)$$

де $\tau_{зр}$ і $[\tau]_{зр}$ – розраховане і допустиме напруження на зріз;

$$\tau_{зр} = Q / (\pi \cdot d_1 \cdot K \cdot H), \quad (3.18)$$

де Q - сила, 4302,5 Н

d_1 – внутрішній діаметр різьби М30, що становить 26,211 мм;

K – коефіцієнт, враховуючий тип різьби, $K = 0,8$;

H – висота нарізаної частини внутрішньої різьби, $H = 35$ мм;

$$\tau_{зр} = 4302,5 / (3,14 \cdot 26,211 \cdot 0,8 \cdot 35) \cdot 10^6 = 1,9 \text{ (МПа)};$$

$$[\tau_{зр}] = 0,2 \cdot \sigma_T; \quad (3.19)$$

σ_T – межа текучості, для сталі 40Х, 700 МПа.

$$[\tau_{зр}] = 0,2 \cdot 700 = 140 \text{ МПа}$$

$$\tau_{зр} = 18,1 < [\tau_{зр}] = 140$$

Отже, умова виконується.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Одну і ту ж деталь можливо виготовити із заготовок, що отримані різними способами. Одним із основних принципів вибору заготовки є спосіб, що забезпечить максимальне наближення форми заготовки до форми готової деталі. У цьому випадку значно зменшується витрата металу, скорочується механічна обробка та виробничий цикл [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Але при цьому у виробництві можуть збільшитись витрати на технологічне обладнання і оснастку, їх ремонт та обслуговування. Тому слід проводити техніко-економічний аналіз заготівельного і обробувального виробництва.

Для порівняння беремо два методи виготовлення заготовки деталі:

- литво в піщано-глиняні форми;
- литво в оболонкові форми.

Литво в піщано-глиняні форми. Для серійного виробництва використовується машинне формування. Одержують виливки складної конфігурації, будь-якої маси. Характеризується низькою (15 квалітет) точністю, високими параметрами шорсткості R_z 20...80, втратами металу. Коефіцієнт використання матеріалу заготовки - 0,6...0,9.

Сутність литва в оболонкові форми полягає в тому, що виготовляються дві напівформи, товщиною 6...20 мм з формувальної суміші, що складається з піску та формальдегідних смол для зв'язки. Аналогічно виготовляють оболонкові стержні. Після збирання оболонкові форми розміщують в нероз'ємні опоки, котрі засипають піском. Піщано-смоляна формувальна суміш містить дрібнозернистий шлак, це дозволяє отримати більш високу точність відливки. При заливанні рідкого металу утворюється тонка газова плівка, яка запобігає утворюванню пригару формувальної суміші. У наслідок чого досягають точності і розмірів 14...12 квалітет, шорсткості поверхні R_z 10...50, коефіцієнта використання матеріалу - 0,8...0,9.

Литво в оболонковій формі дозволяє зменшити об'єм очисних робіт на 50%, скорочує механічну обробку. Процес виготовлення може бути повністю механізованим. Головним недоліком є висока вартість в'язучих речовин, та більш дорога металева модельна оснастка.

При отриманні деталі методом литва в піщано-глинясті форми маса заготовки буде становити:

$$m_{\text{заг}} = \frac{m_d}{K_i} \quad (4.1)$$

де m_d – маса деталі, кг, 11,2,

K_i – коефіцієнт використання матеріалу, 0,8.

$$m_{\text{заг}} = \frac{11,2}{0,8} = 14 \text{ (кг)}.$$

При литві в оболонковій формі:

$$m_{\text{заг}} = \frac{11,2}{0,9} = 12,44 \text{ (кг)}.$$

Проведемо порівняння методів отримання заготовки за собівартістю виготовлення. Визначимо собівартість механічної обробки укрупненим методом:

$$C_{\text{мо}} = C_{\text{стр}} (m_{\text{заг}} - m_d), \quad (4.2)$$

де $C_{\text{стр}}$ – витрати на механічну обробку віднесені до зняття 1 кг матеріалу, 20 грн./кг.

Піщано-глиняна форма:

$$C_{\text{мо}} = 20 \cdot (14 - 11,2) = 56 \text{ (грн)}.$$

Оболонкова форма:

$$C_{\text{мо}} = 20 \cdot (12,44 - 11,2) = 24,8 \text{ (грн.)}$$

Собівартість виготовлення заготовки визначається за формулою:

$$C_3 = m_{\text{заг}} \cdot \left(\frac{S_{\text{заг}}}{1000} \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_M \cdot K_{\text{пм}} \cdot K_{\text{ст}} \right) - (m_{\text{заг}} - m_g) \cdot \frac{S_{\text{від}}}{1000}, \quad (4.3)$$

де $S_{\text{заг}}$ – базова вартість однієї тони заготовок, $S_{\text{заг}} = 80000$ грн;

$S_{\text{від}}$ – вартість однієї тони стружки, $S_{\text{від}} = 10000$ грн;

K_T – коефіцієнт, що залежить від класу точності, $K_T = 1,64$ (при 5 класі точності);

K_C – коефіцієнт, що враховує складність вилівка, $K_C = 0,81$ (2 група складності);

K_M – коефіцієнт, що залежить від матеріалу, $K_M = 1$;

$K_{\text{пм}}$ – коефіцієнт, що враховує програму річного замовлення та масу виливків, $K_{\text{пм}} = 1$;

$K_{\text{ст}}$ – коефіцієнт, що враховує зменшення товщини основних стінок вилівка відносно базової товщини, $K_{\text{ст}} = 1$.

Піщано-глиняна форма:

$$C_3 = 14 \cdot \left(\frac{80000}{1000} \cdot 1,64 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (14 - 11,2) \cdot \frac{10000}{1000} = 1459,8 \text{ (грн.)}$$

Оболонкова форма:

$$C_3 = 12,44 \cdot \left(\frac{80000}{1000} \cdot 1,64 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (12,44 - 11,2) \cdot \frac{10000}{1000} = 1359,6 \text{ (грн.)}$$

Проаналізувавши розрахунки двох методів, обираємо литво в оболонкову форму, тому що собівартість виготовлення заготовки і витрати на механічну обробку менші.

Економічний ефект у цьому випадку буде становити:

$$E = (1459,8 - 1309,6) \cdot 1000 = 150200 \text{ (грн.)}$$

Висновок: проаналізувавши розрахунки двох методів, обираємо литво в оболонкову форму, тому що собівартість виготовлення заготовки і витрати на механічну обробку менші.

4.2 Розрахунок захисного заземлення обладнання

Захисне заземлення – це навмисне з'єднання із землею металевих частин обладнання, які у звичайних умовах знаходяться не під напругою, але можуть опинитися під напругою при порушенні ізоляції електроустановок.

Захисне заземлення призначається для захисту від ураження електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В змінного струму з ізолюваною нейтраллю та постійного струму з ізолюваною середньою точкою, а також із напругою понад 1000 В змінного і постійного струмів із будь-яким режимом нейтралі [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

В електроустановках напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю трансформаторів (або генераторів) захисне заземлення виконують приєднанням частин установки, що заземлюють, до заземленого нейтрального проводу електромережі. При ушкодженні ізоляції створюється коротке замикання однієї фази трансформатора (чи генератора) через нейтралі (рисунок 4.1, а) та електроустановка автоматично відключається через спрацювання запобіжних пристроїв.

В електроустановках напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю трансформаторів (або генераторів), а також у всіх установках напругою понад 1000 В захисне заземлення виконують спорудженням місцевого заземлюючого пристрою з малим опором, до якого приєднують заземлюючі частини установки (рисунок 4.1, б). Опір місцевого заземлюючого пристрою нормується згідно з «Правилами улаштування електроустановок».

а)

б)

Рисунок 4.1 – Заземлення електроустановки у мережі трифазного струму:

а – із глухозаземленою нейтраллю; б – з ізольованою нейтраллю

Фізична суть захищеного заземлення полягає у тому, що навмисно створене між металевим корпусом устаткування та землею електричне з'єднання має досить малий опір порівняно з тілом людини. Цей опір дозволяє знизити силу струму, що проходить через сіло людини, до допустимого значення.

Відповідно до вимог ПУЕ максимально допустимий опір заземлюючого пристрою установок напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю складає 10 Ом при сумарній потужності джерел живлення даної мережі не більше 100 кВ·А та 4 Ом – в інших випадках.

Заземлення буває природним та штучним.

Природне – прокладені в землі водопровідні й інші металеві трубопроводи без ізоляції (крім трубопроводів із горючими речовинами), обсадні труби свердловин, металеві та залізобетонні конструкції підземної частини будівель і споруд, свинцеві оболонки кабелів та інші конструкції.

Розрахунок таких заземлень можна виконувати за допомогою спеціально розроблених номограм, які враховують питомий опір ґрунту, довжину і діаметр трубопроводу або оболонки кабелю.

Штучне заземлення – система вертикальних та горизонтальних електродів, котрі закопують чи забивають у землю (рисунок 4.2).

Рисунок 4.2 – Розміри та глибина закладання електродів

Розглянемо основні конструктивні вимоги до системи заземлення електроустановок.

Для вертикальних електродів використовують сталеві стрижки діаметром 10...16 мм, довжиною до 5 м або кутову сталь із товщиною стінки полиці, не меншою ніж 4 мм, та довжиною до 3 м. Улаштовують штучні заземлення в ряд чи по контуру. З метою уникнення взаємного екранування відстань між вертикальними електродами a повинна бути не меншою від їх довжини.

Для зв'язку між собою вертикальних заземлень або як самостійні заземлення використовують горизонтальні електроди – круглу сталь діаметром, не меншим за 10 мм, чи сталеві смуги перерізом, не меншим ніж 40 мм, товщиною, не меншою за 4 мм.

Для монтажу заземленого пристрою з вертикальних та горизонтальних електродів спочатку викопують траншею глибиною 0,7...0,8 м. Вертикальні електроди забивають таким чином, щоб верхній кінець виступав над дном траншеї на 0,1...0,2 м для можливості з'єднання з горизонтальними електродами (t_2 – глибина закладання горизонтального електрода, $t_2 = 0,6$ м; t_1 – глибина закладання вертикального електрода – відстань від поверхні землі до середини вертикального електрода $t_1 = l/2 + t_2$, м).

Розміри електродів, відстань між ними, конфігурація заземлюючого пристрою визначаються розрахунком.

Вертикальні електроди можуть розміщуватися в ряд чи по контуру (рисунок 4.3). При цьому необхідно дотримуватись умови, щоб відстань між вертикальними електродами a була не меншою від їх довжини l .

Рисунок 4.3 – Схеми розташування електродів

Розрахунок штучних заземлюючих пристроїв проводимо за методом «коефіцієнта використання електродів» як за найбільш наочним.

Розрахунок заземлюючого пристрою полягає у визначенні кількості вертикальних і горизонтальних електродів згідно з вимогами ПУЕ за опором заземлення, питомим опором ґрунту, прийнятими розмірами електродів і конфігурацією заземлення та в порівнянні розрахункового опору заземлення з нормативним значенням. При розрахунку проходимо наведені нижче етапи.

1. Визначаємо нормативний опір заземлення R_z (згідно з вимогами ПУЕ) – 10 Ом або 4 Ом.
2. Обчислимо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних та горизонтальних електродів:

$$\rho_B = \rho_{\text{вим}} \cdot \psi_B, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (4.4)$$

$$\rho_G = \rho_{\text{вим}} \cdot \psi_G, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (4.5)$$

де ψ_B та ψ_G – розрахунковий коефіцієнт сезонності для вертикальних та горизонтальних електродів відповідно;

$\rho_{\text{вим}}$ – питомий опір ґрунту, виміряний у лабораторних умовах, Ом·м.

3. Визначаємо опір розтіканню вертикальних електродів із круглої та кутникової сталі:

$$R_b = \frac{\rho_b}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t_1 + 1}{4 \cdot t_1 - 1} \right), \text{ Ом}, \quad (4.6)$$

де d – зовнішній діаметр електрода, м, для вертикальних електродів із кутникової сталі $d = 0,95 \cdot b$, де b – ширина полиці кутника.

4. Попередньо встановлюємо необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлювачів, шт.:

$$n = \frac{R_b}{R_{\text{з}} \cdot \eta_b}, \quad (4.7)$$

де η_b – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів.

5. Обчислюємо довжину горизонтального електрода

– при конурному влаштуванні:

$$l_r = a \cdot n, \quad (4.8)$$

– при рядовому влаштуванні:

$$l_r = a \cdot (n - 1), \quad (4.9)$$

де a – відстань між вертикальними електродами, м;

n – прийнята кількість вертикальних електродів, шт.

6. Установлюємо опір розтіканню струму для горизонтального електрода:

$$R_r = \frac{\rho_r}{2 \cdot \pi \cdot l_r} \cdot \ln \frac{l_r^2}{r_1 \cdot r_2}, \text{ Ом}, \quad (4.10)$$

де b_1 – ширина смуги, м (для круглої сталі $b_1 = 2d$, де d – діаметр, м).

7. Загальний опір заземлюючого пристрою:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{г}} + R_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot n} \leq R_{\text{з}}, \quad (4.11)$$

де $\eta_{\text{г}}$ – коефіцієнт використання горизонтальних електродів з урахуванням вертикальних електродів. Визначається за інтерполяцією.

8. Уточнюємо вибрані параметри заземлення. Якщо знайдені значення $R_{\text{заг}}$ та $R_{\text{з}}$ значно відрізняються одне від одного, то необхідно змінити кількість електродів (їх довжину, діаметр, товщину тощо) після чого повторити розрахунок, починаючи з п. 5 до виконання умови:

$$\begin{cases} R_{\text{заг}} \leq R_{\text{з}} \\ R_{\text{заг}} \approx R_{\text{з}} \end{cases} \quad (4.12)$$

При збільшенні кількості вертикальних електродів значення R_0 зменшується.

Розрахунки заземлюючих пристроїв є приблизними, тому треба заокруглювати проміжні й кінцеві наслідки у запас.

У якості штучного заземлення застосовуємо сталеві прутки діаметром 30 мм і довжиною 3 м. Для зв'язки вертикальних електродів і в якості самостійного горизонтального електроду використовуємо смугову сталь перетином 4×40 мм. Визначаємо опір розтіканню струму одиночного вертикального заземлення за формулою у якій:

l – довжина заземлення, $l = 3$ м;

d – діаметр прутка, $d = 30$ мм;

t_1 – глибина закладення половини заземлення, м (див. нижче);

$\rho_{\text{в}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м.

Питомий опір ґрунту $\rho_{\text{вим}} = 250$ Ом та коефіцієнт сезонності $\psi = 1,3$

Підставляючи відомі величини, одержимо:

$$\rho_v = 250 \cdot 1,3 = 325 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}.$$

Визначимо глибину закладення середини заземлення, м, за формулою:

$$t_1 = 0,5 \cdot 3 + t_0, \quad (4.13)$$

де t_0 – відстань від поверхні землі до верхнього гінця заземлювача, м.

Приймаємо $t_0 = 0,5$ м.

$$t_1 = 0,5 \cdot 3 + 0,5 = 2 \text{ (м)}.$$

Підставляючи відомі величини у формулу, одержимо:

$$R_v = \frac{325}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,03} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 98,2 \text{ (Ом)}.$$

Визначимо число заземлювачів, урахувавши того, що R_3 – найбільший допустимий опір пристрою, що заземлює, Ом; η_v – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів без врахування впливу сполучної смуги, $\eta_v = 0,63$ (електроди розміщені по контуру).

Таким чином,

$$n = 98,2 / (4 \cdot 0,63) = 38,9 \text{ (шт)}.$$

Приймаємо $n = 39$ шт.

Визначимо опір розтіканню струму горизонтальної сполучної смуги, Ом, з урахуванням того що t_2 – глибина закладення смуги, $t_2 = 0,6$ м; b – ширина смуги, 0,04 м; l_1 – довжина смуги, м, визначається:

$$I_1 = 1,05 \cdot a \cdot n, \quad (4.14)$$

де a – відстань між вертикальними заземленнями, м:

$$a = 2 \cdot l; \quad (4.15)$$

$$a = 2 \cdot 3 = 6 \text{ (м)}.$$

Підставляючи відомі величини, одержимо:

$$I_1 = 1,05 \cdot 6 \cdot 39 = 246 \text{ (м)}.$$

Розрахунковий питомий опір ґрунту ρ_r , Ом·м, для горизонтальної сполучної смуги розраховується з урахуванням того, що: питомий опір ґрунту $\rho_r = 250$ Ом; коефіцієнт сезонності $\psi = 4,5$.

Підставляючи відомі величини, одержимо:

$$\rho_r = 250 \cdot 4,5 = 1\,125 \text{ (Ом·м)}.$$

Підставляючи відомі величини, одержимо:

$$R_r = \frac{1125}{2 \cdot 3,14 \cdot 246} \cdot \ln \frac{246}{0,04 \cdot 0,6} = 10,73 \text{ (Ом)}.$$

Визначимо опір розтіканню струму заземлюючого пристрою.

Значення η_r становить 0,35.

Підставляючи відомі величини, одержимо:

$$R_{\text{заг}} = \frac{98,2 \cdot 10,73}{98,2 \cdot 0,35 + 10,73 \cdot 0,63 \cdot 59} = 3,54 \text{ (Ом)}.$$

Порівнюючи отримані величини, робимо висновок про придатність результатів розрахунку для практичної реалізації, оскільки $R_{\text{заг}}$ не перевищує допустимого опору захисного заземлення: $3,54 < 4 \text{ Ом}$.

4.3 Екологічні аспекти застосування компресорних установок

Компресорні установки широко застосовуються під час сільськогосподарського виробництва, а також багатьох інших галузях. Проте їх експлуатація супроводжується низкою екологічних аспектів, які потребують уваги. Розглянемо ключові з них.

1. Енергоспоживання та викиди CO_2 . Компресори споживають значну кількість електроенергії. При використанні установок, що працюють на викопному паливі (дизельні, бензинові компресори), виділяються вуглекислий газ (CO_2), оксиди азоту (NO_x) та інші забруднюючі речовини. Оптимізація енергоспоживання, застосування енергоефективних технологій та використання альтернативних джерел енергії (наприклад, сонячних чи вітрових) можуть знизити вуглецевий слід.

2. Витік стисненого повітря та технічних газів. Витоки повітря призводять до неефективної витрати енергії та збільшення навантаження на обладнання. Якщо компресор використовується для стиснення небезпечних або шкідливих газів (наприклад, фреонів, аміаку), їх витік може завдати шкоди навколишньому середовищу. Регулярне технічне обслуговування та застосування детекторів витоків допомагають мінімізувати втрати.

3. Забруднення оливами та охолоджувальними рідинами. Масляні компресори можуть викидати в атмосферу аерозолі оливи, що забруднюють повітря. При недбалому обслуговуванні можливі витіки оливи та охолоджуючих рідин, що забруднюють ґрунт та водойми. Альтернативою є безмасляні компресори, а також використання систем фільтрації та утилізації відпрацьованих рідин.

4. Шумове забруднення. Робота компресорів супроводжується високим рівнем шуму (від 70 до 100 дБ і від). Тривалий вплив шуму негативно впливає на здоров'я людини та екосистеми, особливо поблизу житлових районів. Для зниження шуму застосовуються шумоізоляційні кожухи, віброопори та спеціальні звукопоглинаючі матеріали.

5. Нагрівання навколишнього середовища. Компресори виділяють тепло, що може призвести до перегріву приміщень та погіршення мікроклімату. У промислових масштабах це може впливати на локальний клімат, особливо у замкнених просторах. Використання систем рекуперації тепла дозволяє спрямовувати надлишкове тепло на опалення чи технологічні потреби.

6. Утилізація та переробка обладнання. Після закінчення терміну служби компресори вимагають утилізації, що може спричинити утворення металевих відходів, забруднених маслами та хімічними речовинами. Розробка програм з переробки обладнання та безпечної утилізації компонентів знижує екологічну шкоду.

Отже, екологічні аспекти засвоєння компресорних установок пов'язані з енергоспоживанням, викидами, витоками, шумом та утилізацією. Для мінімізації негативного впливу необхідний комплексний підхід, що включає енергоефективні технології, регулярне обслуговування, шумозащитні заходи та екологічно безпечну утилізацію.

ВИСНОВКИ

Відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1. Визначено службове призначення поршневого компресору. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме циліндру низького тиску. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно замітника-аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – середньосерійний.

2. Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталь. Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь циліндру. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні $\varnothing 140 \pm 0,08$ мм розрахунково аналітичним та табличним методами.

3. Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час токарної автоматної обробки деталі. Визначено зусилля затиску. Розраховано параметри силового приводу. Проведено розрахунок слабкої ланки на міцність.

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки. Річний економічний ефект під час порівняння між двома заготівельними технологіями для програми випуску 1000 шт. склав 150200 грн. Крім того, проведено інженерні розрахунки захищеного заземлення виробничого обладнання. Приділено увагу екологічним аспектам використання компресорних установок.

5. У графічній частині роботи наведено кресленик циліндра низького тиску, кресленик заготовки циліндра низького тиску, схема налагодження інструментальна, складальний кресленик затискного пристосування для виконання токарної операції механічної обробки.