

**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: «Організація виробництва черв'ячного валу гаспеля»

КРБ.133ГМбд\_31[2].15.00.00.000 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]  
ШЕСТИРКО Денис

Керівник: канд. техн. наук, доцент  
ПОПОВ Станіслав

**Полтава – 2025 року**

## ВСТУП

Лебідки (гаспеля) відіграють важливу роль у сільському господарстві, де їх використовують для переміщення та підйому важких вантажів, полегшуючи працю та підвищуючи продуктивність. Вони бувають ручними, механічними та електричними. Вибір типу гаспеля залежить від специфіки роботи, навантаження та доступного джерела живлення. Ось деякі приклади їх застосування у сільському господарстві.

1. Переміщення сільгосптехніки та обладнання (транспортування або переміщення тракторів, комбайнів та іншого важкого обладнання, що особливо корисно на нерівних або болотистих ділянках).

2. Завантаження та розвантаження врожая (переміщення тюків сіна, соломи, а також мішків із зерном та іншими продуктами, заощадження часу та сили робітників).

3. Будівництво та ремонт господарських будівель (зведення сараїв, комор та інших споруд, де потрібне піднесення будматеріалів на висоту).

4. Лісозаготівлі та розчищення території (буксирування стовбурів дерев та корування, що спрощує розчищення поля під посів або для інших потреб).

5. Ветеринарні та тваринницькі завдання (можливий підйом або переміщення великих тварин, наприклад, при їх транспортуванні).

Саме тому розробка та удосконалення деталей гаспелей (лебідок), що широко використовуються на об'єктах сільськогосподарського виробництва є важливою науково-технічною задачею [32].

Отже деталь, винесена на розгляд у кваліфікаційній роботі, а саме вал, є складовою частиною гаспеля.

**Мета** роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки виробництва із забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є гаспель, а **предметом** – конструкторсько-технологічні аспекти забезпечення процесів виготовлення валу, що входить до його складу.

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

- 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 розрахунково-аналітичним та графічним методом;

- сконструювати пристосування для активного контролю розмірів за результатами виготовлення валу гаспеля, а також здійснити його основні розрахунки;

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

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

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

### 1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

У даній кваліфікаційній роботі на розгляд виноситься гаспель (рисунок 1.1, таблиця 1.1), що являє собою пристрій для транспортування вантажів.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика гаспеля

№ з.п.	Найменування параметру	Розмірність	Значення
1	Тягове зусилля	кН	2,5
2	Діаметр дроту	мм	6,0
3	Довжина дроту	м	40
4	Швидкість навивання дроту	м/с	0,4
5	Потужність електродвигуна	кВт	2,0
6	Габаритні розміри	мм	735×635×700
7	Маса	кг	450

До складу гаспеля входять (рисунок 1.1): 1 – барабан; 2 – кришка; 3 – щуп; 4 – колесо; 5 – вісь; 6 – вал черв'ячний; 7 – шків; 8 – заглушка; 9 – шайба; 10 – кришка; 11 – шпилька; 12 – кільце; 13 – шайба стопорна; 14 – штифт; 15 – гвинт; 16 – корпус; 17 – прокладка; 18 – кришка; 19 – прокладка; 20 – корпус; 21 – кришка підшипника; 22 – пробка; 23 – кільце; 24 – маслянка; 25 – підшипник; 26, 27 – манжета; 28-30 – болт; 31 – шайба; 32 – підшипник; 33 – шайба; 34 – гайка; 35 – шайба.

Полтавський державний аграрний університет

Рисунок 1.1 – Гаспель для транспортування вантажів

Від електричного двигуна через пасову передачу обертовий момент передається на черв'ячний вал, що взаємодіє із барабаном (за рахунок черв'ячного колеса).

Деталю, що виносить на детальний розгляд, є вал черв'ячний (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Вал черв'ячний

Він призначений для передачі обертального руху від електродвигуна до барабану. Черв'як виготовляють з вуглецевої якісної сталі 45 за ДСТУ 7809-2015.

### 1.1 Аналіз параметрів точності

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

Необґрунтоване завищення вимог точності для окремих поверхонь деталі ускладнює обробку, робить виробництво дорогим. Особливо важливо на початку проаналізувати технічні вимоги на деталь, вимоги точності розмірів, відносних поворотів, точності форм, а також поверхневої шорсткості кожної поверхні, що відносяться до даної деталі.

Таблиця 1.2 - Аналіз точності деталі

№ з. п.	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносного положення	Шорсткість, $R_a$ , мкм
1	2	3	4	5	6	7
1	Циліндрична поверхня під підшипник	$\varnothing 60^{+0,021}_{+0,006}$	k6	-	-	0,8
2	Циліндрична поверхня під підшипник	$\varnothing 60^{+0,02}_{+0,006}$	k6	-	-	0,8
3	Циліндрична поверхня під ущільнення	$\varnothing 50_{-0,039}$	h8	-	-	0,8
4	Циліндрична поверхня під ущільнення	$\varnothing 50_{-0,039}$	h8	-	-	0,8
5	Зовнішня поверхня черв'ячного вінця	$\varnothing 106_{-0,14}$	h10	-	-	2,5
6	Циліндрична поверхня шліців	$\varnothing 44,5_{-0,16}$	n11	-	-	10
7	Горець	$59 \pm 1$	-	-	-	10
8	Горець опору підшипника	$318_{-0,34}$	-	-	-	2,5
9	Різьба	M8	7H	-	-	10

Виконавши аналіз параметрів точності деталі зроблено висновок про те, що шорсткість поверхонь відповідає вимогам точності. Найточніший розмір має

поверхня, що виконується за 6 квалітетом (циліндрична поверхня під підшипник). Найнижча шорсткість за значенням Ra 0,8 мкм. Деталь легко виготовляється за умов машинобудівного виробництва.

### 1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

Деталь виготовлено із конструкційної вуглецевої сталі марки 45 за ДСТУ 7809-2015 [24, 37]. Цю сталь можна замінити рядом матеріалів – таких, як сталі 40Х, 50, 50Г2. Її використовують для виготовлення таких деталей валів: шестерні, колінчасті та розподільчі вали, шестерні, шпінделі, бандажі, циліндри, кулачки та інші нормалізовані, поліпшені та деталі, що піддаються термічній обробці, від яких вимагається підвищена міцність.

Хімічний склад базового матеріалу наведено у таблиці 1.3, а замінника – таблиці 1.4

Таблиця 1.3 – Хімічний склад матеріалу деталі, %

Сталь	С	Mn	Si	$\sigma_b$ , МПа	Твердість НВ	Р	Cr	Ni	Cu	S
						не більше				
45	0,42-0,5	0,5-0,8	0,17-0,37	470-620	143-229	0,035	0,25	0,25	0,25	0,04

Таблиця 1.4 – Хімічний склад матеріалу-замінника деталі, %

Сталь	С	Mn	Si	$\sigma_b$ , МПа	Твердість НВ	Р	Cr	Ni	Cu	S
						не більше				
40Х	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	470-655	143-278	0,035	0,5-1,1	0,3	0,3	0,035

Технологічні властивості сталі 45:

- температура кування, °С: початок – 1250, кінець – 1000, переріз до 400 мм – охолоджувати на повітрі;

- зварювання – важкозварювана. Спосіб зварювання: РДЗ/КТЗ. Необхідне підігрівання і наступна термообробка;

- оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при НВ 170-179 та  $\sigma_B=640$  МПа,  $K_{V_{ТВ.СПЛ}}=1$ ;  $K_{V_{Б.СТ.}}=1$ ;

- флокеночутливість – малочутлива;

- схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Отже, обраний замінник матеріалу повністю відповідає технічним та технологічним вимогам.

#### 1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку в черв'ячних валах гаспеля у кількості 550 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

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

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

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

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

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

$$N_{зан} = (550 + 0,04 \cdot 550) \cdot (1 + 0,025) = 585 \text{ (шт.)}$$

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

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Технологічність вузла – це його здатність забезпечувати простоту та ефективність на всіх етапах життєвого циклу: від проектування та виробництва до збірки, експлуатації, ремонту та утилізації. Вузол з високою технологічністю може бути виготовлений і зібраний з мінімальними витратами, використовує стандартні та уніфіковані елементи, вимагає менше трудомісткості під час ремонту.

Ключові характеристики технологічності включають:

зручність обробки матеріалів;

використання стандартних деталей і кріплення;

мінімізація операцій при складанні-розбиранні;

доступність вузла для контролю якості та технічного обслуговування.

Вузол має у своєму складі багато стандартних та уніфікованих деталей, що значно спрощує його виготовлення. Наглядно це можна представити у вигляді коефіцієнтів стандартизації та уніфікації:

Коефіцієнт стандартизації:

$$C_{st} = \frac{N_{st}}{n}, \quad (2.1)$$

де  $n$  – загальна кількість деталей,

$N_{st}$  – кількість стандартних деталей.

$$C_{st} = \frac{74}{98} = 0,76.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$U = \frac{N_{un}}{n}, \quad (2.2)$$

де  $n$  – загальна кількість деталей;

$N_{un}$  – кількість уніфікованих деталей.

$$y = \frac{15}{98} = 0,15.$$

Оцінка технологічності складальної одиниці за коефіцієнтами стандартизації та уніфікації проводиться із метою поліпшити технологічні властивості деталі, зменшити кількість нестандартизованих та унікальних трудомістких деталей [23].

Отже конструкція даного вузла є технологічною та придатною для виготовлення, застосування та експлуатації.

У процесі аналізу креслення деталі було виявлено, що деталь практично повністю відпрацьована на технологічність для серійного типу виробництва, оскільки затрати на налагодження верстатів будуть порівняно невеликі з економією матеріалу та часу.

Основні та спеціальні вимоги до технологічності деталі заносяться до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність валу черв'ячного

№ з.п.	Показники і вимоги до технологічності	Бисновки за показниками технологічності	Заходи з покращення технологічності
1	2	3	4
1	Вали повинні мати центрувальні отвори для базування при обробці і контролі.	Центрувальні отвори на деталі є, отже дана умова виконується.	-

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
2	Ступінчасті ваги повинні мати невеликі перепади, а довжини ступенів повинні бути однаковими або кратними для можливості обробки деталі на багаторізьцевих верстаках.	Деталь має великі перепади, але усунути цей недолік конструктивно неможливо.	-
3	Конструкція деталі не повинна мати різьбу менше М6 для можливості автоматизованої обробки.	Дана деталь повністю задовольняє цей показник.	
4	У верстатах з ЧПК не рекомендується обробка кутих, відмінних від 45° та 90°.	Деталь має кути відмінні від 45°, 90°, закладені конструктором при проектуванні вузла.	Скорегувати кути спільно з конструктором.

Розглянувши таблицю 2.1, можна зробити висновки, що в цілому деталь за більшістю показників є технологічною для умов автоматизованого виробництва. Усі основні технологічні вимоги є забезпеченими.

## 2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

Аналіз діючого технологічного процесу – це оцінка та дослідження усіх етапів та операцій, що включені у виробничий процес. Основна мета аналізу – виявити сильні та слабкі сторони процесу, знайти можливості для його оптимізації, підвищення ефективності, якості продукції та зниження витрат.

Аналіз може включати наступні етапи.

1. Вивчення операцій. Визначення, які операції додають цінність та які можна оптимізувати чи усунути.
2. Оцінка часу та витрат. Аналіз часу виконання операцій, витрат на матеріали та працю.
3. Ідентифікація вузьких місць. Виявлення етапів, які уповільнюють процес чи є найменш ефективними.
4. Якість та брак. Аналіз рівня браку, виявлення причин дефектів та оцінка стабільності процесу.
5. Використання ресурсів. Оцінка ефективності використання обладнання, матеріалів та робочого часу.

Результати аналізу дають підстави для покращення процесу, що може призвести до зниження собівартості, підвищення продуктивності та якості продукції.

Черв'як виготовляється методом штампування. При механічній обробці у дрібносерійному виробництві використовувалися універсальні верстати, різальний інструмент.

За умов середньосерійного виробництва нами пропонується використовувати верстати із ЧПК. Застосування прогресивного різального інструменту дозволяє підвищити швидкість різання, що значно зменшує вступний час виготовлення деталі, а відповідно і затрати енергії, інструменту тощо. Це також зменшує собівартість деталі.

### 2.3 Маршрути обробки 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].

Маршрути обробки поверхонь – це послідовність операцій, які виконуються для досягнення необхідної чистоти, точності та якості поверхні деталі. Вони залежать від матеріалу заготовки, типу поверхні (плоска, циліндрична, фасонна і т.д.), вимог до допусків, шорсткості та інших параметрів.

Типові маршрути обробки поверхонь можуть включати такі етапи.

1. Попередня обробка. Чорнова механічна обробка для зняття основного шару матеріалу та надання деталі потрібної форми. Наприклад, точіння, фрезерування чи свердління.

2. Проміжна обробка. Отримання більш точних розмірів та зменшення шорсткості. Включає напівобробку – більш точне точіння, розточування чи шліфування.

3. Чистова обробка. Досягнення остаточних розмірів, низької шорсткості та високої якості поверхні. Найчастіше включає шліфування, доведення, хонінгування чи суперфінішування.

4. Сздоблювальні операції (при необхідності): Забезпечують остаточну обробку поверхні для досягнення високих вимог до точності та якості, таких як полірування, гальванічне покриття, анодування тощо.

Кожен маршрут обробки вибирається з урахуванням вимог до кінцевого виробу, економічної ефективності та доступності обладнання.

Кількість ступенів обробки визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_D} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3}{T_2} \cdot \frac{T_{i-1}}{T_i} \cdot \dots \cdot \frac{T_{n-1}}{T_D} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i, \quad (2.3)$$

де  $\varepsilon$  – загальне значення;

$\varepsilon_i$  – окремі ступені уточнення;

$L$  – число ступенів обробки;

$T_3, T_d, T_i$  – відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ступеня обробки.

Розкладаючи загальне значення на співмножники, потрібно враховувати типові рекомендації: для першого ступеня чорної 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:

$$n_p = \lg(\varepsilon) / 0,46. \quad (2.4)$$

Можливі методи обробки поверхні деталі подано у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Маршрути обробки деталі

Позначення поверхні	Квалітет точності	Допуск за кресленням, $\delta_d$ , мм	Шорсткість $R_a$ за кресленням, $\mu\text{м}$	Допуск заготовки $\delta_s$ , мм	Квалітет	Загальне уточнення	Можливі маршрути обробки поверхонь		Квалітет кінцевий	Досягнений допуск, мм	Проміжний ступень уточнення	Загальне уточнення
							Маршрут	Переділ МОП				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,2	6	0,015	0,8	5	16	4,91	1	Точіння попереднє	12	0,18	2,39	4,91
								Точіння напівчистове	9	0,11	1,64	
								Точіння чистове	7	0,05	1,23	
								Точіння тонке	6	0,015	1	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
								2	Точіння одноразове	12	0,18	2,39	4,91	
									Точіння напівчистове	9	0,11	1,64		
									Шліфування одноразове	7	0,05	1,23		
									Шліфування чистове	6	0,015	1		
2,4	8	0,039	0,8	5	16	4		1	Точіння попереднє	12	0,21	2,48	4	
									Точіння чистове	8	0,039	1,6		
									2	Точіння одноразове	12	0,21	2,48	4
									Шліфування одноразове	8	0,039	1,6		
5,6	10	0,14	2,5	5	16	3,21		1	Точіння попереднє	12	0,21	2,48	3,21	
									Точіння чистове	10	0,14	1,6		
									2	Точіння	10	0,14	1,6	3,21

Більш економічним є 1-ий варіант обробки, бо задані параметри точності поверхні досягаються на найменшій кількості верстатного обладнання. Це дає змогу економити на основних фондах.

#### 2.4 Розробка маршруту обробки деталі

Маршрут обробки деталі будемо на основі етапів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва та базування (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Принципова схема маршруту обробки деталі

№ операції	Обладнання	Ескіз обробки	Зміст операції
1	2	3	4
005 Заготівельна			Штампування.
010 Фрезерно-центрув	Фрезерно-центрувальний верстат мод. 2Г942		1. Фрезерувати торці поверхонь А, Б у розмір 1 одночасно. 2. Центрувати торці поверхонь А, Б одночасно.
015 Гармічна	Піч.		Нормалізація.
020 Токарна	Токарний з ЧПК верстат моделі 16Б16Т1		1.Точити поверхню А, у розміри 1, 2. 2.Точити поверхню Б у розміри 3, 4. 3.Точити поверхню В у розміри 5, 6. 4.Точити поверхню В начисто в розміри 5, 6. 5.Точити поверхню Г попередньо в розміри 7, 8. 6.Точити поверхню Г начисто в розмір 7, 8. 7.Точити поверхню Д в розміри 10, 11. 8.Точити пов. Е в розміри 11, 12, 13. 9.Точити канавку поверхню Ж, в розміри 5, 16, 17. 10.Точити поверхню І в розміри 18-21. 11.Точити 2 фаски в розмір 20.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
025 Токарна	Токарний з ЧПК верстат моделі 10513T1		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Точити поверхню А, у розміри 1, 2.</li> <li>2.Підрізати торець поверхню Б у розмір 3.</li> <li>3.Точити поверхню В у розміри 5, 6.</li> <li>4.Точити поверхню В начисто в розміри 5, 6.</li> <li>5.Точити поверхню Г у розміри 7, 8.</li> <li>6.Точити поверхню Г у розміри 7, 8.</li> <li>7.Точити поверхню Д в розміри 10, 11.</li> <li>8.Точити поверхню Е в розміри 11, 12, 13.</li> <li>9.Точити канавку поверхню Ж, в розміри 5, 16, 17.</li> <li>10.Точити поверхню І в розміри 18, 21.</li> <li>11.Точити фаски в розмір 22.</li> </ol>
030 Токарна	Токарно-гвинторізний верстат моделі 1625		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Прорізати перший захід в розміри 94,246 глибиною 24,5 мм.</li> <li>2.Повернути заготовку в центрах на 180°.</li> <li>3.Прорізати другий захід в розміри 94,246 глибиною 24,5 мм.</li> </ol>

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
035 Шліфув.	Круглошліфувальний верстат з ЧПК моделі 3Б161		Встановити, закріпити, зняти. 1. Шліфувати поверхню А, витримуючи розміри 1, 2 з одночасним шліфуванням торця Б в розмір 3.
040 Шліфув.	Шліцефрезерний напівавтомат моделі 53503		Встановити, закріпити, зняти. 1. Фрезерувати на поверхні А 16 шліців, витримуючи розміри 1. 2. Перевстановити. 3. Фрезерувати на поверхні Б 16 шліців, витримуючи розміри 2.
045 Шліфув.	Круглошліфувальний верстат з ЧПК моделі 3Б161		Встановити, закріпити, зняти. 1. Шліфувати поверхню А, витримуючи розміри 1. 2. Перевстановити. 3. Шліфувати поверхню Б, витримуючи розміри 1.
050 Свердл.	Радіально- свердильний верстат моделі 2А53У		Встановити, закріпити, зняти. 1. Свердлити 2 отвори, витримуючи розміри 1, 2, 3. 2. Зенувати 2 фаски в розмір 4. 3. Нарізати різьбу, витримуючи розміри 5, 6.
060 Контр.	Стіл ВТК		Контролювати кінцеві розміри.

## 2.5 Визначення припусків на обробку 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 поверхня  $\varnothing 60k6^{(+0,021}_{+0,002)}$  мм.

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

$$2z_{i \min} = 2 \sqrt{(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})}, \quad (2.5)$$

де  $Rz_{i-1}$  – висота мікронерівностей, мкм,

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

$\rho_{i-1}$  – 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;

$\varepsilon_i$  – похибка встановлення заготовки на переході, що виконується.

Правильність розрахунку перевіряється за формулою:

$$z_{0 \max} - z_{0 \min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}}, \quad (2.6)$$

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.

Таблиця 2.4 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці  $\varnothing 60k6^{(+0,021/+0,002)}$  мм

Технологічний перехід	Елемент припуску, мкм				Розр. припуск $2Z_{\min}$ , мкм	Розр. розмір, $d_p$ , мм	Допуск $\delta$ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	R	T	$\rho$	$\varepsilon$				$D_{\min}$	$D_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	800	801	-	-	-	65,46	2200	64,561	65,46	-	-
Точіння чорнове	50	50	40,05	0	2*1601	60,46	460	60,46	229,45	3250	4990
Точіння напівчистове	50	30	4,005	0	2*140,1	60,115	115	60,115	229,728	278	623
Точіння чистове	25	25	0,02	0	2*104	60,093	72	60,056	60,093	208	251
Шліфування	1	-	-	0	2*5	60,021	46	60,002	60,021	10	14
Усього										3846	6000

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot Z_{\max} - 2 \cdot Z_{\min} = \delta_z - \delta_d; \quad (2.7)$$

$$6000 - 3846 = 2200 - 46;$$

$$2154 = 2154.$$

На решту поверхонь деталі припуски визначаються за довідниковими таблицями. Отримані результати по усіх поверхнях заносимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 - Припуски та допуски на інші поверхні

Розмір деталі для механічної обробки, мм	Допуск на розмір, мм	Припуск, мм	Номінальний розмір заготовки, мм
Ø50	2,4	5	Ø60±1,2
Ø106	2,4	5	Ø116±1,2
Ø44,5	2,4	5	Ø55±1,2

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1 Розробка контрольно-вимірювального пристосування

Для того щоб проєктоване комплексне контрольно-вимірювальне пристосування було економічно вигідним у виготовленні, його розробляють для виміру чистових розмірів на кінцевих чи операціях для контролю технічних параметрів, таких як радіальне биття, перпендикулярність, площинність, паралельність, круглість, співвісність і ін. [12, 36, 38, 39].

Розроблене у роботі комплексне контрольно-вимірювальне пристосування (рисунок 3.1) призначене для контролю після заключних шліфувальних операцій розмірів, закладених у креслення деталі.

Рисунок 3.1 – Пристосування

Для одержання потрібного нам результату виміру, під час контролю необхідне виконання умов, закладених у кресленні контрольно-вимірювального пристосування.

Параметри, що контролюються, зазначені на кресленику робочої деталі:

1.  $\text{Ø}46_{-0,25}$  мм;
2.  $\text{Ø}50\text{h}8_{(-0,039)}$  мм;
3.  $\text{Ø}44,5_{-0,25}$  мм;
4.  $\text{Ø}60_{\text{h}60_{\left(\begin{smallmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix}\right)}}$  мм;
5.  $\text{Ø}50\text{h}8_{(-0,039)}$  мм.

### 3.2 Принцип роботи пристосування

Після шліфувальної операції деталь переміщується на стіл ВТК, де спочатку протирається від пилу, стружки, олії. Потім деталь устатковують в пристосування (рисунк 3.1).

До основи поз.2 крігиться плита поз.3 на якій встановлена корпус центра поз.4. За допомогою втулки поз.11 в корпусі встановлений задній центр поз.10, на якому базується контролюємо деталь. З іншого боку встановлений притискний центр поз.7, що центрує та притискає деталь.

Провертаючи деталь щупи, повторюючи контур контролюемого діаметра передають значення вимірів на індикаторну панель поз.1. Контролер записує показання з індикаторної панелі, оброблює ці данні на комп'ютері, потім можна зробити висновок про точність оброблених поверхонь.

Далі відволімо індикаторні пристрої, відкріпліємо, знімаємо деталь і передаємо на наступні операції.

### 3.3 Розрахунок на точність

Під похибкою виміру контрольного пристосування розуміють різницю між показниками контрольного пристосування і дійсним значенням величини, що перевіряється.

$$[E_{\text{вим}}] \leq \kappa \cdot T, \quad (3.1)$$

де  $[E_{\text{вим}}]$  – допустима похибка контрольного пристосування;

$\kappa$  – справочний коефіцієнт, що залежить від точності обробки поверхні, що контролюється,  $\kappa = 0,25$ ;

$T$  – допуск на розмір.

Загальна похибка пристосування розраховується за формулою:

$$E_{\text{вим}} = \sqrt{E_{\delta}^2 + E_{\Delta_{\text{рад}}}^2 + E_{\text{пр}}^2}, \quad (3.2)$$

де  $E_{\delta}$  – похибка базування,

$$E_{\delta} = \delta + \Delta_{\text{рад}}, \quad (3.3)$$

де  $\delta$  – допуск на розмір,  $\delta = 0,1$  мм;

$\Delta_{\text{рад}}$  – радіальний зазор посадки,  $\Delta_{\text{рад}} = 0,005$  мм;

$$E_{\delta} = 0,1 + 0,005 = 0,105 \text{ мм},$$

$E_{\text{інд}}$  – похибка індикатора,

$$E_{\text{інд}} = \frac{\Delta}{2} = \frac{0,01}{2} = 0,005 \text{ мкм},$$

де  $\Delta$  – ціна поділки індикатора,

$E_{\text{пр}}$  – похибка пристосування;

$$E_{\text{пр}} = E_{\text{р1}} - E_{\text{р2}}, \quad (3.4)$$

де  $E_{p1}$  – похибка виготовлення важелів,  $E_{p1} = 0,02$  мм;

$E_{p2}$  – проміжок вісь – важіль,  $E_{p2} = 0,005$  мм;

$$E_{np} = 0,02 + 0,005 = 0,025 \text{ мм.}$$

Тоді

$$[E_{\text{вим}}] = \sqrt{0,105^2 + 0,005^2 + 0,025^2} = 0,081 \text{ мм,}$$

$$0,081 \leq 0,25 \cdot 0,1,$$

$$0,081 \leq 0,125.$$

Умова виконується. Точність забезпечується.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для деталі «Вал черв'ячний», що виготовляється з вуглецевої сталі 45 найбільш доцільними буде два способи: прокат та штампування у закритих штампах [1, 4, 34].

Проведемо економічну оцінку добору способу виготовлення заготовки, методом порівняння собівартості одержання заготовок по варіантах [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Визначимо коефіцієнти використання матеріалу при прокаті й при штампуванні за формулою:

$$K_{в.м} = \frac{m_0}{m_3}, \quad (4.1)$$

де  $m_0$ ,  $m_3$  – маси деталі й заготовки відповідно.

Маса готової деталі  $m_0 = 14,6$  кг, маса заготовки із прокату  $m_3 = 29,2$  кг, орієнтовна маса проєктованого штампування  $m_3 = 18,3$  кг.

Прокат:

$$K_{в.м} = \frac{14,6}{0,5} = 29,2.$$

Штампування:

$$K_{в.м} = \frac{14,6}{0,8} = 18,3.$$

Як видно за коефіцієнтами використання матеріалу, штампування має менші втрати металу, чим заготовка із прокату. Вибираємо для одержання деталі штампування із класом точності заготовки Т3.

Визначимо вартість заготовки із прокату:

$$S_{заг} = m_3 \cdot \frac{S_{np}}{1000} - (m_3 - m_0) \frac{S_{отх}}{1000}, \quad (4.2)$$

де  $S_{np}$  – вартість 1 тони прокату ( $S_{np} = 55000$  грн/т),

$S_{отх}$  – вартість 1 тони відходів ( $S_{отх} = 10000$  грн/т).

$$S_{заг} = 29,2 \frac{55000}{1000} - (29,2 - 14,6) \frac{10000}{1000} = 1460 \text{ грн.}$$

Вартість штампування:

$$S_{шт} = \left( \frac{C_i}{1000} m_3 \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_b \cdot k_n \right) - (m_3 - m_0) \frac{S_{отх}}{1000}, \quad (4.3)$$

де  $C_i$  – вартість 1 тони заготовки, отриманих штампуванням ( $C_i = 45000$  грн/т),

$k_m, k_c, k_b, k_n$  – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й обсягу виробництва ( $k_m = 1,1$ ,  $k_c = 1,2$ ;  $k_b = 1,1$ ;  $k_n = 1,02$ ;  $k_n = 1,03$ ).

Вартість штампування складе:

$$S_{шт} = \left( \frac{45000}{1000} \cdot 18,3 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,02 \cdot 1,03 \right) - (18,3 - 14,6) \frac{10000}{1000} = 1219 \text{ грн.}$$

Економічний ефект у цьому випадку буде становити:

$$E = (1460 - 1219) \cdot 550 = 132550 \text{ (грн)}$$

Отже, заготовка виготовлена штампуванням не тільки дешевша, але й має менший коефіцієнт використання матеріалу, що дає змогу скоротити час обробки і трудомісткість операції.

#### 4.2 Розрахунок штучного заземлення

Штучне заземлення – це система заземлення, створена штучно для забезпечення безпеки обладнання та захисту людей від ураження електричним струмом. Воно використовується у тих випадках, коли природного заземлення (наприклад, металевих трубопроводів або арматури в бетоні) недостатньо для досягнення необхідного опору [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

Основні характеристики та цілі штучного заземлення.

1. Захист від ураження струмом – штучне заземлення знижує ймовірність ураження електричним струмом, створюючи шлях для безпечного відведення струму замикання в землю.

2. Стабілізація потенціалу – забезпечує дигрівнювання електричних потенціалів обладнання та землі, запобігаючи накопиченню заряду.

3. Захист від перенапруг – штучне заземлення допомагає відводити у землю імпульсні струми, спричинені ударами блискавки, перемикання в мережі та іншими факторами.

Конструкція штучного заземлення наступна.

Штучне заземлення включає декілька компонентів. Заземлювачі – металеві стрижні, труби або пластини, що закопуються в землю на певну глибину для створення ефективного контакту з ґрунтом. Заземлювальні провідники - з'єднують обладнання із заземлювачами. Сполучні елементи – для надійного кріплення всіх частин системи.

Розглянемо види заземлювачів.

1. Горизонтальні – укладаються на великій глибині (0.5-1 м) паралельно поверхні землі.

2. Вертикальні – металеві стрижні або труби, що забиваються на велику глибину, що дозволяє досягати нижчого опору в ґрунтах з високим питомим опором.

Штучне заземлення необхідне в електроустановках, де:

- потрібне ефективне захисне заземлення, але природні умови (наприклад, сухий піщаний ґрунт) не дозволяють забезпечити необхідний опір;
- необхідно захистити від перенапруг (підстанції, високовольтні лінії, будинки із системами блискавкозахисту).

Отже, штучне заземлення – це обов'язковий елемент безпечної експлуатації електричних установок, особливо у промислових, комерційних і житлових будинках, де природне заземлення недостатньо.

Розрахунок заземлюючого пристрою полягає у визначенні кількості вертикальних і горизонтальних електродів згідно з вимогами за нормативним опором заземлення  $R_3=10 \text{ Ом}$  питомим опором ґрунту  $\rho_{\text{вим}}=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . У якості вертикального заземлювача (електроду) використовуємо рівнобічні кутики з полицею 50 мм прийнятими розмірами електродів  $0,040\times 3 \text{ м}$  та в порів'язнні розрахункового опору заземлення з нормативними значеннями.

Обчислюємо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних електродів:

$$\rho_e = \rho_{\text{вим}} \psi_v = 100 \cdot 1,2 = 120 (\text{Ом}\cdot\text{м}), \quad (4.4)$$

де  $\psi_v$  – розрахунковий коефіцієнт сезонності для вертикальних електродів,  $\psi_v=1,2$ .

2. Визначасмо опір розтіканню вертикальних електродів із круглої сталі:

$$R_e = \frac{\rho_e}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left[ \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t_1 + l}{4 \cdot t_1 - l} \right], \quad (4.5)$$

де  $d$  – зовнішній діаметр електрода; для вертикальних електродів із кутової сталі  $d=0,95b$ , де  $b$  – ширина полиці кута.

$$R_6 = \frac{120}{2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 3} \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,1 + 3}{4 \cdot 2,1 - 3} \right] = 33,22.$$

3. Попередньо встановлюємо необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлювачів:

$$n = \frac{R_6}{R_3 \cdot \eta_6} = \frac{33,22}{10} \approx 4 \text{ шт.}, \quad (4.6)$$

де  $\eta_6$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1.

4. Обчислюємо довжину горизонтального електрода. При рядовому влаштуванні:

$$l_2 = a \cdot (n - 1) = 6 \cdot (4 - 1) = 18 \quad (4.7)$$

де  $a$  – відстань між вертикальними електродами, м

$$a = 2 \cdot l_6 = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м}; \quad (4.8)$$

$n$  – прийнята кількість вертикальних електродів.

5. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтального електрода:

$$\rho_2 = \rho_{\text{вим}} \cdot \psi_2 = 100 \cdot 1,6 = 160 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (4.9)$$

де  $\psi_2$  – розрахунковий коефіцієнт сезонності для горизонтальних електродів,  $\psi_2 = 1,6$ .

6. Установлюємо опір розтікання струму для горизонтального електрода

$$R_2 = \frac{\rho_2}{2 \cdot \pi \cdot l_2} \cdot l_n \frac{l_2^2}{b \cdot t_0} = \frac{160}{2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 18} \cdot \ln \frac{18^2}{0,04 \cdot 0,6} = 13,49 \text{ Ом}. \quad (4.10)$$

де  $b_1$  – ширина штаби, м.

7. Загальний опір заземлюючого пристрою:

$$R_0 = \frac{R_e \cdot R_z}{r_e \cdot \eta_r + R_z \cdot \eta_e \cdot n} \leq R_3 \quad (4.11)$$

де  $\eta_r$  – коефіцієнт використання горизонтальних електродів з урахуванням вертикальних електродів

$$R_0 = \frac{33,22 \cdot 13,49}{33,22 \cdot 0,89 + 13,49 \cdot 0,83 \cdot 4} \leq 6,03 < R_3 = 10.$$

Отже параметри заземлення вибрані вірно.

#### 4.3 Сільськогосподарські склади та довкілля

Склади сільськогосподарської продукції відіграють важливу роль у системі зберігання та транспортування продуктів, однак вони також можуть значно впливати на екологію. Серьезні екологічні аспекти, пов'язані з такими складами:

1. Забруднення ґрунту та води. Склади сільськогосподарської продукції часто містять добрива, пестициди та інші агрохімікати. У разі неправильного зберігання або витоків ці речовини можуть потрапляти в ґрунт та водоймища, що веде до забруднення навколишнього середовища та погіршення якості води.

2. Забруднення повітря. Процеси, пов'язані із зберіганням та переробкою продукції, можуть виділяти в атмосферу різні речовини. Наприклад, зернозі та інші рослинні продукти при зберіганні виділяють пил, який забруднює повітря і може викликати респіраторні захворювання у працівників та мешканців навколишніх районів. Застосування хімічних консервантів шкодить якості повітря.

3. Відходи. Складування призводить до накопичення органічних відходів, таких як зіпсована продукція, а також пакувальних матеріалів. Якщо відходи не переробляються або утилізуються неправильно, це може призвести до утворення звалищ та забруднення довкілля.

4. Вуглецевий слід. Склади сільськогосподарської продукції вимагають значних енергетичних ресурсів, особливо, якщо вони обладнані системами охолодження або вентиляції. Це збільшує викиди вуглекислого газу та інших парникових газів, що сприяє зміні клімату.

5. Вплив на біорізноманіття. При будівництві великих складів часто знищуються природні місцезабудування тварин і рослин, що веде до втрати біорізноманіття. Крім того, при неправильному управлінні відходами гризуни та інші шкідники можуть проникати на склади, вимагаючи застосування отрухохімікатів, що також впливає на місцеву екосистему.

Способи зниження негативного впливу наслідки.

1. Правильне зберігання агрохімікатів – створення спеціальних герметичних контейнерів.

2. Фільтрування та уловлювання пилу – встановлення фільтрів у вентиляційних системах.

3. Енергозберігаючі технології – перехід на сонячні панелі або енергозберігаючі системи.

4. Переробка відходів – компостування органічних залишків та вторинна переробка упаковки.

5. Суворий моніторинг витоків та викидів – для запобігання забрудненню води та ґрунту.

Таким чином, впровадження стійких практик зберігання та управління на сільськогосподарських складах може значно знизити їх негативний вплив на довкілля.

## ВИСНОВКИ

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

1. Визначено службове призначення вузла, винесеного на розгляд. Проведено аналіз деталі, що є складовою гаспеля, а саме валу черв'ячного. 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 валу. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні  $\varnothing 60k6^{+0,021}_{+0,002}$  мм розрахунково-аналітичним методом, на решту поверхонь – табличним способом.

3. Запропоновано конструкцію пристосування, що може бути використано під час операції контролю за результатами механічної обробки валу. Проведено розрахунок пристосування на точність.

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки валу гаспеля. Річний економічний ефект для програми випуску 530 шт. склав 132550 грн. Окрім того, здійснено розрахунок штучного заземлення. Рисвітлено екологічну шкалу від сільськогосподарських складів, а також способи зниження їх негативного впливу.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик гаспеля, кресленик черв'ячного валу, кресленик заготовки черв'ячного валу, складальний кресленик пристосування для контролю механічної обробки.