

**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: «Удосконалення технологічних операцій з виготовлення  
валу поперечного паливного насосу»

КРБ.133ГМбд\_31[2].07.00.00.000 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]  
ЛЕЩЕНКО Владислав

Керівник: докт. техн. наук, професор  
ВЛАСОВЕЦЬ Віталій

**Полтава – 2025 року**

## ВСТУП

У сільському господарстві дизельні двигуни внутрішнього згоряння є основним джерелом енергії для тракторів, комбайнів, насосних станцій та іншої спеціалізованої техніки. Одним із найважливіших елементів таких двигунів є паливний насос. Він відповідає за подачу дизельного палива під високим тиском у циліндри. Цей процес є основою для ефективної роботи двигуна, оскільки правильне змішування палива з повітрям і його подальше згоряння визначають потужність, економічність та екологічність роботи сільськогосподарської техніки [32].

Паливні насоси мають різні конструктивні виконання і технології подачі палива. Традиційні механічні системи, такі як рядні та розподільні паливні насоси, продовжують широко використовуватися, особливо в надійних і перевірених моделях сільгосптехніки. У той же час сучасні електронні системи впорскування, такі як Common Rail, дозволяють більш точно дозувати паливо, знижуючи його витрату та поліпшуючи екологічні показники роботи двигуна. Кожна із цих систем має свої переваги та особливості експлуатації, які необхідно враховувати при обслуговуванні та ремонті.

Надійність паливного насосу має критичне значення для безперебійної роботи сільськогосподарської техніки, особливо в період посівних та збиравальних робіт, коли зупинки (простої) у роботі можуть призвести до значних збитків. Регулярне технічне обслуговування, використання якісного палива і одночасна діагностика можливих несправностей допомагають продовжити термін служби паливного насосу і забезпечити стабільну роботу двигуна.

Отже, паливні насоси відіграють вирішальну роль у безперебійній роботі сільськогосподарської техніки, забезпечуючи надійність і ефективність аграрних процесів. Їх своєчасне технічне обслуговування та правильне використання є запорукою успішного ведення сільського господарства та підвищення загальної продуктивності у галузі.

**Мета** роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки виробництва із забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є паливний насос, а

**предметом** — конструкторсько-технологічні аспекти забезпечення процесів виготовлення валу поперечного.

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

- проаналізувати службове призначення вузла, здійснити аналіз точності, охарактеризувати конструкційний 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 вузла, характеристика, опис

На розгляд вноситься вал поперечний у зборі паливного насосу (рисунок 1.1, таблиця 1.1).

Рисунок 1.1 – Вал поперечний (у зборі): 1 – тяга пружна; 2 – важіль;  
3 – тяга з шарніром; 4 – вал; 5, 6 – важіль; 7 – стійка; 8 – кільце; 9, 10 – кришка;  
11, 12 – валик; 13 – втулка; 14 – валик; 15 – втулка; 16, 17 – важіль; 18 – угор;  
19, 20 – кільце; 21-23 – болт; 24 – гайка; 25 – гвинт; 26 – кільце; 27 – маслянка;  
28 – підшипник; 29 – штифт; 30 – шплінт; 31 – штифт

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика валу поперечного (у зборі)

Назва параметра	Величина
Крутний момент, Нм	35,6
Зусилля, Н	1250
Габаритні розміри, мм	716×112×121,5
Маса, кг	6,23

Поперечний вал паливного насоса – це елемент конструкції паливної системи дизельного двигуна, який виконує функцію передачі руху та синхронізації роботи плунжерних пар. Він є частиною механізму приводу насоса високого тиску.

Розглянемо призначення та принципи роботи.

1. Передача крутного моменту (вал отримує обертання від розподільного механізму двигуна (зазвичай через шестерний привід); перетворення його у зворотньо-поступальний рух кулачків, що впливають на плунжери паливного насоса).

2. Забезпечення точного дозування палива (координує роботу плунжерних пар для подачі потрібної кількості палива в циліндри у потрібний момент часу; синхронізується зі частотою обертання колінчастого валу двигуна).

3. Зв'язок із регулятором подачі палива (через поперечний вал здійснюється керування подачею палива залежно від режиму роботи двигуна).

Паливний насос високого тиску дизельного двигуна (рис. 1.2) є ключовим компонентом паливної системи, що забезпечує подачу палива під високим тиском у циліндри двигуна. Насос є плунжерним, багатосекційним, золотникового типу. Встановлюється у розвалі блоку циліндрів. Кріпиться до лотка шпильками із фіксацією положення за допомогою конічних штифтів. Привід здійснюється від розподільного валу через зубчасту передачу, що розташована на задньому торці блоку циліндрів. Система керування подачею палива є механічною із можливістю

регулювання кількості палива, що подається для кожного циліндру. Змащування здійснюється від загальної масляної системи двигуна.

Рисунок 1.2 – Насос паливний високого тиску

У таблиці 1.2 подаємо технічну характеристику насоса паливного високого тиску Jubana D-243 (виробник: Wuxi Weifu International Trade Co., Ltd).

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика насоса паливного

Назва параметра	Величина
Частота обертання двигуна, об/хв.	2200
Діаметр плунжера, мм	9
Кількість секцій	4
Номінальна циклічна подача, мм <sup>3</sup> /цикл	7
Частота обертання кулачкового валу, об/хв.	1100
З'єднання	Фланцеве

Деталлю, що виноситься на детальний розгляд, є вал (рисунок 1.3).

Рисунок 1.3 – Вал

Він служить для передачі руху між важелями за допомогою шліцевого зачіплення. Вал обертається на двох підшипниках ковзання. Виготовляється зі сталі 45 за ДСТУ 7809:2015.

### 1.2 Аналіз параметрів точності

При проведенні аналізу параметрів точності деталі заповнюємо таблицю 1.3 (рисунок 1.4), у якій наведені дані про точність виготовлення та якість обробки [3, 9, 11, 13, 18, 21, 25, 29, 40, 47, 48].

Рисунок 1.4 – Аналіз параметрів точності деталі

Таблиця 1.3 – Аналіз параметрів точності

Номер пов. деталі	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносно-го положення	Шорсткість, $R_a$ , мкм
1	2	3	4	5	6	7
1	Циліндрич на поверхня	$\varnothing 25 \pm 0,0065$	js6	$\square A$	–	1,6
2	Циліндрич на поверхня	$\varnothing 25 \begin{smallmatrix} +0,065 \\ -0,117 \end{smallmatrix}$	d9		$\begin{matrix} \nearrow 0,03 \\ BB \end{matrix}$	1,6
3	Циліндрич на поверхня	$\varnothing 25 \pm 0,0065$	js6	$\square B$	–	1,6
4	Циліндрич на поверхня	$\varnothing 18 \begin{smallmatrix} -0,13 \\ -0,13 \end{smallmatrix}$	h11	–	–	6,3
5	Циліндрич на поверхня	$\varnothing 25 \begin{smallmatrix} -0,065 \\ -0,117 \end{smallmatrix}$	d9	–	–	1,6
6	Торцева поверхня	$595 \begin{smallmatrix} -1,75 \\ -1,75 \end{smallmatrix}$	H11	–	–	6,3

Провівши аналіз якості виконання поверхонь деталі, маємо, що найточніший розмір у поверхонь  $\varnothing 25 \pm 0,0065$  і найнижча шорсткість  $R_a = 1,6$  мкм. Деталь може бути виготовлена у заводських умовах.

### 1.3 Характеристика матеріалу деталі, заміник

Матеріал, що використовується для виготовлення деталей машин повинен мати високі механічні властивості. При цьому він повинен мати високий комплекс механічних властивостей, а не високе значення якої-небудь однієї властивості. Матеріал з якого виготовляються деталі машин, що зазнають великі навантаження,

повинен опиратися таким навантаженням і, поряд з високою міцністю, повинен мати і в'язкість, щоб опиратися динамічним та ударним навантаженням. Отже, головними критеріями для виборі матеріалу, з якого виготовляються деталі є задовільні хімічні та механічні властивості матеріалу та його вартість [24, 37].

Вал, виготовлений із конструкційної, вуглецевої якісної сталі 45. Цю сталь можна замінити рядом матеріалів – таких, як сталі 40Х, 50, 50Г2.

Дану сталь використовують для виготовлення різних деталей, а саме, вали-шестерні, колінчасті та розподільчі вали, шестерні, шпинделі, бандажі, циліндри, кулачки та інші нормалізовані, поліпшені та деталі, що піддаються термічній обробці, від яких вимагається підвищена міцність.

Хімічний склад і властивості матеріалу наведені нижче в таблиці 1.4. Також у цій таблиці приведено марку, хімічний склад та властивості матеріалу, яким можна замінити базовий матеріал.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад матеріалу деталі вал

Сталь	C	Mn	Si	$\sigma_B$ , МПа	Твердість НВ	P	Cr	Ni	Cu	S
						не більше				
45	0,42-	0,5-	0,17-	470-620	143-229	0,035	0,25	0,25	0,25	0,04
	0,5	0,8	0,37							
40Х	0,36-	0,5-	0,17-	470-655	143-248	0,035	0,5-1,1	0,3	0,3	0,035
	0,44	0,8	0,37							

Технологічні властивості сталі 45:

- температура кування, °С: початок – 1250, кінець – 700, перебіг до 400 мм – охолоджувати на повітрі;
- зварювання – важкозварювана. Спосіб зварювання: РДЗ, КТЗ. Необхідне підігрівання і наступна термообробка;
- оброблюваність різанням – у гарячкатаному стані при НВ 170-179 та  $\sigma_B=640$  Мпа,  $K_{V_{TB.цил.}}=1$ ;  $K_{V_{б.ст.}}=1$ ;

- флокеночутливість – малочутлива;
- схильність до відпускнуї крижкості – не схильна.

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

#### 1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало допит ринку в деталях валу поперечного паливного насосу у кількості 600 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.

$$N_{зан} = (600 + 0,04 \cdot 600) \cdot (1 + 0,025) = 640 \text{ (шт.)}$$

Максимальна маса зорблєваних заготовок деталей вузла перевищує 20 кг, тому за [34] визначаємо тип виробництва – середньосерійне.

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

В автоматизованому виробництві вимоги до технологічності базуються на таких самих вимогах, що і вимоги до виготовлення на універсальному обладнанні. При використанні верстатів з ЧПК конструктор може створити деталь зі складною поверхнею, а не обробити її. Це має значення для міцності, а багатострументальна обробка та велика концентрація переходів вимагають більш точних базових поверхонь, а також досягнення інструменту до більшості поверхонь [23].

Конструкція машини, вузла, деталі є технологічною, коли вона відповідає усім технічним та експлуатаційним вимогам і коли на неї витрачається мінімальна кількість суспільної праці.

Конструкція валу поперечного (у зборі) є середньою по складності. Він складається з більш ніж тридцяти деталей. У даному виробі широко застосовуються стандартні вироби (болти, гайки, шайби та ін.), але основна маса деталей виготовляється безпосередньо для даного привода, конструкція виробу дозволяє проводити його складання без особливих труднощів. При проведенні поточних технічних оглядів та ремонтів виріб досить легко розбирається.

Точність виконання основних функціональних поверхонь забезпечує нормальне функціонування вузла.

Базові поверхні складальних одиниць, якими вони будуть установлюватися у вузол, оброблені достатньо точно, з точки зору точності та визначеності базування. Регулювання та контроль роботи також проводиться без розбирання. Складові частини мають таку конструкцію, що забезпечує задану точність розташування їх у валі поперечному.

Коефіцієнт уніфікації:

$$y = \frac{n}{N} = \frac{26}{63} = 0,32, \quad (2.1)$$

де  $n$  – кількість уніфікованих деталей;

$N$  – загальна кількість деталей.

Коефіцієнт стандартизації:

$$Cm = \frac{n}{N} = \frac{34}{63} = 0,54, \quad (2.2)$$

де  $n$  – кількість стандартних деталей;

$N$  – загальна кількість деталей.

У загальному конструкцію валу поперечного можна вважати технологічною і придатною для виготовлення й експлуатації відповідно до технічних вимог.

В таблиці 2.1 наводимо аналіз технологічності деталі.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність деталі

№ з. п.	Показники і вимоги до технологічності	Бисновки по показникам технологічності	Заходи з покращення технологічності
1	2	3	4
1	Чи є зручні бази?	Так, технологічно.	При обробці зовнішньої поверхні – встановлення в тришпальцевому патроні

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
2	Чи можна використовувати прості установчі елементи?	Так, технологічно.	Конструкція деталі дозволяє використовувати прості пневматичні та механічні пристосування.
3	Чи є глухі отвори?	Ні, технологічно.	–
4	Чи більша глибина отворів за 8d?	Ні, технологічно.	–
5	Чи можлива багатошпindelна або багато інструментальна обробка?	Так, технологічно.	
6	Яка точність заготовок для їх обробки на верстатах з ЧПК?	–	Точність заготовки за 6 квалітетом.
7	Чи від однієї технологічної бази проставлені розміри?	Так, технологічно.	–
8	Чи є в конструкції деталі різьби, менші за М6?	Ні, технологічно.	–

Отже, деталь є технологічною з точки зору автоматизованого виробництва.

## 2.2 Аналіз ліючого технологічного процесу виготовлення

Вал виготовляли з прокату. Ми пропонуємо переглянути спосіб отримання заготовки на більш прогресивний. Виготовлення з прокату вимагає значних припусків на механічну обробку. Хоча даний метод дешевий, але наступна механічна обробка вимагає значних витрат на зняття припуску. Коефіцієнт використання металу низький.

Припуск, що зніматиметься, буде менше, тому відпаде необхідність у деяких операціях механічної обробки. Це зменшить кількість верстатів, необхідних для виготовлення деталі.

Під час виготовлення валу на підприємстві використовувалися стандартні універсальні пристрої, універсальні верстати, різальний інструмент. За умов серійного виробництва ми пропонуємо використовувати верстати з ЧПК. Застосування прогресивного різального інструменту дозволить підвищити швидкість різання. Це значно зменшить штучний час виготовлення деталі, а відповідно і витрати енергії, інструменту тощо. Це також знизить значення собівартості деталі.

## 2.3 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:

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

де  $\varepsilon$  – загальне значення;

$\varepsilon_i$  – 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 враховувати типові рекомендації: для першого ступеня чорнової обробки досяжними є величини уточнення  $\varepsilon=6$ ; для проміжних ступенів напівчистої обробки  $\varepsilon=3...4$ ; для ступенів чистої обробки  $\varepsilon=1,5...2$ .

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу:

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

Пропонуємо наступні обробки поверхонь деталі (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Методи обробки поверхонь деталі

Позначення поверхні	Квалітет точності	Допуск за кресленням $\delta_d$ , мм	Шорсткість $R_a$ за кресленням	Допуск заготовки, $\delta_z$ , мм	Припуск квалітет	Загальне уточнення	Можливі маршрути обробки поверхонь		Квалітет після обр.	Досліджений допуск, мм	Проміжний ступень уточнення	Загальне уточнення
							Номер	Перехід МОП				
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1,3	6	0,013	1,6	2,5	1,6	12,3	1	Точіння попередне	12	0,42	5,23	12,3
								Точіння чистове	9	0,23	3	
								Шліфування одноразове	6	0,013	2,6	
							2	Точіння попередне	12	0,42	5,23	
	Точіння чист.	9	0,23	3								
	Точ. тонке	6	0,013	2,6								

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	9	0,052	1,6	2,5	16	15,3	1	Точіння попереднє	12	0,52	4,25	15,3
								Точіння чистове	11	0,18	3,21	
								Шліфування одноразове	9	0,052	2,6	
2	9	0,052	1,6	2,5	16	15,3	2	Точіння попереднє	12	0,51	4,25	15,3
								Точіння чистове	11	0,22	3,21	
								Точіння тонке	9	0,052	2,6	
4	11	0,13	6,3	2,5	16	12,2	1	Точіння попереднє	14	1,5	10,7	12,2
								Точіння чистове	11	0,13	2,5	
							2	Точіння чистове	11	0,13	2,5	
6	14	1,75	6,3	4,5	16	21,3	1	Точіння одноразове	14	1,75	6,2	21,3

Приклад, для обробки поверхні №3. Допуск за креслеником 0,013 мм, допуск заготовки – 2,7 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{2,7}{0,013} = 207,7$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 207,7}{0,46} \approx 5,04.$$

Отже, необхідно передбачити не менше 5 етапів обробки для даної поверхні.

Загальний висновок: більш економічним є 2-ий варіант обробки, бо задані параметри точності поверхні досягаються на найменшій кількості верстатів. Це дає змогу економії при формуванні верстатного парку підприємства.

#### 2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

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

Таблиця 2.3 – Маршрут обробки деталі

№ операції	Обладнання	Зміст операції
1	2	3
005 Заготівельна	КГШП	Кування
010 Термічне	Піч	Поліпшення.
015 Слюсарна	Пневмошліфмашинка ІП 2014Б	Зачистити заусенці, пригудити гострі крайки та очистити нагар.
020 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальна верстат моделі МР71М	1. Фрезерувати торці заготовки. 2. Центрувати торці, витримавши розміри 2, 3, 4, 5

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
025 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20	Точити циліндричні поверхні, витримавши розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.
030 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК верстат моделі 16К20Ф5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Точити циліндричні поверхні напівчисто, витримавши розміри 1-7 з припуском 1 мм.</li> <li>2. Точити циліндричні поверхні начисто, витримавши розміри 1-12, крім поверхні А, на якій залишити припуск 0,6 мм.</li> <li>3. Точити канавку, витримавши розміри 11, 12, 13, 14, 15.</li> <li>4. Точити фаску, витримавши розмір 16.</li> </ol>
035 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК верстат моделі 16К20Ф5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Точити циліндричні поверхні начисто, витримавши розміри 1-12, крім поверхні А, на якій залишити припуск 0,6 мм.</li> <li>2. Точити фаску, витримавши розмір 13.</li> </ol>
040 Термічна	Установка СВЧ Ванна гартування	Гартування зовнішніх діаметрів.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
045 Зубофрезерна	Зубофрезерний верстат моделі 6Б76П	1. Фрезерувати 36 шліців, витримуючи розміри 1-8. 2. Фрезерувати 36 шліців, витримуючи розміри 9-16.
050 Шліфувальна	Круглошліфувальний верстат моделі 3М150	Шліфувати зовнішні діаметри, витримуючи розміри 1-6.

## 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 розмір  $\varnothing 25js6(\pm 0,0065)$  мм.

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

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

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  $\varnothing 25js6(\pm 0,0065)$  мм

Технол. перехід	Елемент припуску, мкм			Розр. припуск $2Z_{\min}$ , мкм	Розр. розмір $D_p$ , мм	Допуск, мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	$F_z$	T	$\Delta$				$D_{\min}$	$D_{\max}$	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Штамп.	200	250	2400	-	31,1935	1300	31,2	22,5	-	-
Чорнове точіння	100	100	0	5700	25,4935	520	25,5	26,02	6480	5700
Чистове точіння	25	25	0	400	25,0935	84	25,1	25,184	836	400
Шліфування	5	15	0	100	24,9935	13	24,9935	25,0065	177,5	106,5
							$\Sigma$		7493,5	6206,5

Проводимо перевірку правильності розрахунку

$$2 \cdot z_{\max} - 2 \cdot z_{\min} = \delta_3 - \delta_d; \quad (2.7)$$

$$7493,5 - 6206,5 = 1300 - 13;$$

$$1287 = 1287.$$

Для наочності результати розрахунків вручну зобразити графічно (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1. Графічна схема розташування припусків на обробку ступені валу  $\varnothing 25js5(\pm 0,0065)$  мм

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

Таблиця 2.5 - Припуски на механічно оброблені поверхні деталі

Розмір деталі для механічної обробки, мм	Допуск на розмір, мм	Припуск, мм	Номінальний розмір заготовки, мм
Ø25	0,013	3,0	Ø28 <sup>+1,8</sup> <sub>-0,9</sub>
Ø24	0,52	4,0	Ø28 <sup>+1,8</sup> <sub>-0,9</sub>
Ø25	0,052	3,0	Ø28 <sup>+1,8</sup> <sub>-0,9</sub>
Ø25	0,013	3,0	Ø28 <sup>+1,8</sup> <sub>-0,9</sub>
Ø24	0,13	4,0	Ø28 <sup>+1,8</sup> <sub>-0,9</sub>
Ø18	0,046	4,0	Ø22 <sup>+1,2</sup> <sub>-0,6</sub>

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для операції механічної обробки деталі (020 фрезерно-центрувальна) розробляємо конструкцію затискного пристосування, керуючись рекомендаціями [12, 36, 38, 39]. Складальний креслення пристосування представлено у графічній частині роботи, а також на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне

Пристосування складається із наступних елементів: 1 – циліндр гідравлічний; 2 – корпус; 3 – сектор зубчастий; 4 – тяга, 5 – шпилька; 6 – втулка; 7 – штуцер; 8 – вісь; 9 – планка; 10 – важіль; 11 – втулка; 12 – пружина; 13 – кільце; 14 – тяга;

15 – сальник; 16 – кришка; 17 – планка; 18 – призма; 19 – втулка; 20 – шайба; 21 – вісь; 22 – сухар; 23 – планка; 24 – кришка; 25 – сережка; 26, 27 – вісь; 28 – кришка; 29 – повзун передній; 30 – валик; 31 – рейка зубчаста; 32 – втулка; 33 – болт; 34-39 – гвинт; 40, 41 – гайка; 42 – штифт; 43 – пробка; 44 – штифт; 45 – пружина.

На даному пристосуванні виконується обробка на фрезерно-центрувальному верстаті моделі МФ71М. Перевагою є наявність самоцентрувальних призм, що одночасно центрують і затискають заготовку. Точне центрування вздовж осі  $x$  здійснюється за допомогою втулок 11. Вони притискаються пружинами 12 і мають кільце 13 з лимбом.

Затиск призм здійснюється скляним кулісним механізмом двобічної дії якій складається з шпильки 5. Вона передає силу затиску з гідравлічного циліндру 1 скрізь втулку 6. Зубчатий сектор 3 утворює момент який розподіляється на дві складові сили  $F$  – це механізм він складається з тяг 4. Вони розсовують важелі 10 центровані на осях. Плавність ходу призм забезпечується планками 17.

Переміщення сухарів вздовж осі  $x$  здійснюється по направляючим корпусу 2 і притискується кришками 16. В них є отвори для змащення. Мاستило з помпи до гідроприводу подається по штуцерам 7.

### 3.2 Розрахунок зусилля затиску та параметри силового приводу

Розрахунок зусиль, необхідних для затискання заготовки, виконуємо з урахуванням аналізу гіпотез розкріплення [7, 28, 12, 36, 38, 39]. При установці заготовки в самоцентрувальні призма і закріплення її силою  $Q$  виникає три гіпотези розкріплення (рисунок 3.2):

- а) перекидання – немає, так як працюють водночас обидві торцеві фрези;
- б) осьовий зсув – немає, так як працюють водночас обидві торцеві фрези;
- в) поворот заготовки навколо своєї осі (робоча гіпотеза);
- г) розкриття призм (робоча гіпотеза).

Рисунок 3.2 – Розрахункова схема

Рівняння рівноваги для робочої гіпотези в) визначаємо по формулі (3.1):

$$2M_{\text{піз}} \cdot K \leq M_{\text{он}} \quad (3.1)$$

$$P_z \cdot K = 2F_{\text{мп}} = 2Q \cdot f \cdot \cos \alpha$$

З цих формул маємо:

$$Q = \frac{P_{\text{піз}}}{2 \cdot f \cdot \cos \alpha} \quad (3.2)$$

де  $\alpha$  – кут призми  $\alpha = 90^\circ$ ;

$f_{\text{тр}}$  – коефіцієнт тертя  $f_{\text{тр}} = 0,15$ .

Розрахунок сили різання  $P_z$  проводимо за формулою(3.3):

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{10^q \cdot n^w} \cdot K_{\text{мп}} \quad (3.3)$$

де  $t = 4,3$  мм – глибина різання;

$S = 0,08 \text{ мм/зуб}$  – подача;

$B = 30 \text{ мм}$  – ширина фрезерування;

$z = 5$  – кількість зубів фрези;

$D = 28 \text{ мм}$  – діаметр фрези;

$n = 1250 \text{ хв}^{-1}$  – частота обертання фрези;

$K_p = 1,33$  – загальний поправочний коефіцієнт;

$C_p = 238$ ;  $x = 1,0$ ,  $y = 0,75$ ;  $u = 1,1$ ,  $v = 1,3$ ;  $\omega = 0,2$  – коефіцієнт та показники ступеня.

$$P_z = \frac{10 \cdot 299,5 \cdot 4 \cdot 3^1 \cdot 0,08^{0,75} \cdot 30^{1,1} \cdot 5}{28^{1,3} \cdot 1250^{0,2}} \cdot 1,33 = 1024,2 \text{ (Н)}.$$

Зусилля затиску заготовки:

$$Q = \frac{1024,2}{2 \cdot 0,15 \cdot \cos 45^\circ} = 4828 \text{ Н}.$$

Для другої робочої гіпотези г) необхідно, щоб:

$$Q \geq P_{oc} \quad (3.4)$$

де  $P_{oc}$  – осьова складова сили різання

Цю складову ми знаходимо по формулі (3.5)

$$P_{oc} = F_z \cdot K, \quad (3.5)$$

де  $K$  – поправочний коефіцієнт, для осьової складової він приймається рівним 1,84.

$$P_{oc} = 1024,2 \cdot 1,84 = 1885 \text{ Н},$$

Так як,  $Q = 4828 \text{ Н} > P_{oc} = 1885 \text{ Н}$ , то робимо висновок, що умова виконується.

Діаметр гідроциліндра знаходимо за формулою(3.6):

$$D = 2\sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot P}}, \quad (3.6)$$

де  $p$  – тиск оливи, МПа

$$D = 2\sqrt{\frac{4828}{3,14 \cdot 3 \cdot 10^6}} = 0,045 \text{ (м)}.$$

За стандартом вибираємо діаметр гідроциліндра  $D = 60$  мм.

### 3.3 Розрахунок слабкої ланки на міцність

Зубчата рейка з'єднана зі штоком за допомогою шпильки. При роботі пристосування деталь затискається призмами за допомогою тягнучої сили штока. Тому шпилька невантажена осьовою силою розтягу.

При цьому умова міцності різьбового з'єднання має вид:

$$\sigma_p = \frac{4F}{\pi \cdot d^2} \leq [\sigma_p], \quad (3.7)$$

де  $\sigma_p$  – розрахункове напруження розтягу в поперечному перерізі нарізаної частини шпильки,

$F$  – сила, що розтягує шпильку,  $F = Q = 4828$  Н,

$d$  – внутрішній діаметр різьби шпильки,  $d = 16$  мм.

$[\sigma_p]$  – допустиме напруження на розтягнення шпильки  $[\sigma_p] = 0,6 \cdot \sigma_T$ :

$$[\sigma_p] = 0,6 \cdot 400 = 240 \text{ (МПа)};$$

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot 4828}{3,14 \cdot 16^2} = 24 \text{ (МПа)};$$

$$24 < 240.$$

Умова міцності виконується, тому шпильки із таким діаметром достатньо.

Також перевіряємо різьбу на зріз за умовою міцності різьби по напруженні на зріз по формулі:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot H \cdot K \cdot K_m} \leq [\tau], \quad (3.8)$$

де  $H$  – глибина за винчуння шпильки  $H=d=16$  мм;

$K$  – коефіцієнт повноти різьби,  $K=0,5$ ;

$K_m$  – коефіцієнт нерівномірності навантаження по виткам різьби,

$K_m=0,6$ ,

$[\tau]$  – допустиме напруження на зріз,  $[\tau]=90$  МПа.

$$\tau = \frac{4828}{3,14 \cdot 16 \cdot 16 \cdot 0,5 \cdot 0,6} = 20 \text{ (МПа)}.$$

Умова виконується, так як  $90 > 20$ .

Розраховуємо вісь на зріз. Основна формула на зріз має вигляд:

$$\tau = \frac{Q}{F} \leq [\tau], \quad (3.9)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу, для циліндричних тіл  $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ ;

Отже формула (3.9) набуває вид:

$$\tau = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \leq [\tau], \quad (3.10)$$

Враховуючи при цьому, що для сталі  $[\tau] = 90$  МПа, перевіряємо вісь:

$$\tau = \frac{4 \cdot 4828}{3,14 \cdot (0,04)^2} = 3,8 \text{ (МПа)}.$$

Отже, вісь з діаметром 40 мм відповідає умові розрахунку на зріз.

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

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для валу, що виготовляється зі сталі 45, способи отримання заготовок для порівняння наступні: виготовлення із прокату та штампування на молотах [1, 4, 5, 30-34, 49].

Точність розмірів заготовки з прокату 12..15 квалітет, шорсткість поверхні за  $R_z = 80 \dots 20$ , коефіцієнт використання матеріалу заготовки – 0,45...0,5.

Точність розмірів, отриманих штампуванням 13..15 квалітет, шорсткість поверхні за  $R_z = 80 \dots 20$ , коефіцієнт використання матеріалу заготовки – 0,8...0,9.

Розрахуємо собівартість виготовлення заготовки деталі.

Маса заготовки, кг, що виготовлена з прокату.

$$Q_{заг} = \frac{Q_0}{k_i}, \quad (4.1)$$

де  $Q_0$  – маса деталі, кг ( $Q_0 = 1,1$ );

$k_i$  – коефіцієнт використання матеріалу.

$$Q_{заг} = \frac{1,1}{0,5} = 2,2 \text{ (кг)}.$$

При отриманні деталі штампуванням маса заготовки буде становити:

$$Q_{заг} = \frac{Q_0}{k_i} = \frac{1,1}{0,9} = 1,22 \text{ (кг)}.$$

Проведемо порівняння методів отримання заготовки за собівартістю виготовлення. Визначаємо вартість заготовок. Вартість штампованої заготовки, грн.:

$$C_3 = Q_{заг} \left( \frac{C_{mat}}{1000} \cdot K_m \cdot K_g \cdot K_M \cdot K_n \cdot K_{ск} \right) - (Q_{заг} - Q_d) \frac{C_{від}}{1000}; \quad (4.2)$$

$C_{mat}$  – вартість тони матеріалу заготовки, грн., 40000;

$C_{від}$  – вартість тони відходів матеріалу заготовки, грн., 10000;

$K_m$  – коефіцієнт, що залежить від класу точності. Оскільки клас точності заготовки Т4, то  $K_m = 1,1$ ;

$K_g$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу,  $K_g = 1,06$ ;

$K_M$  – коефіцієнт, що залежить від маси заготовки, за  $K_M = 1,0$ ;

$K_n$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва,  $K_n = 1,27$ ;

$K_{ск}$  – коефіцієнт, що залежить від конструктивної та технологічної складності заготовки,  $K_{ск} = 1,13$ .

Визначаємо собівартість штампованої заготовки:

$$C_3 = 1,22 \left( \frac{40000}{1000} \cdot 1,1 \cdot 1,06 \cdot 1,0 \cdot 1,27 \cdot 1,13 \right) - (1,22 - 1,1) \frac{10000}{1000} = 80,5 \text{ (грн.)}$$

Визначаємо собівартість заготовки із прокату, грн.:

$$C = Q_{заг} \cdot C_{mat} - (Q_{заг} - Q_d) \frac{C_{від}}{1000}, \quad (4.3)$$

де  $Q_{заг}$  – маса заготовки, кг;

$C_{mat}$  – вартість 1 кг матеріалу заготовки, грн., 50;

$Q_d$  – маса деталі, кг;

$C_{від}$  – вартість 1т відходів, грн., 10000.

Визначаємо собівартість заготовки з прокату:

$$C = 2,2 \cdot 50 - (2,2 - 1,1) \frac{10000}{1000} = 99 \text{ (грн.)}$$

Таким чином, порівнюючи отримані значення ціни заготовки, видно, що з економічної сторони, нам вигідно застосувати штампування. Економічний ефект у цьому випадку буде становити:

$$E = (99 - 80,5) \cdot 600 = 11100 \text{ (грн.)}$$

Висновок: проаналізувавши два методи виготовлення заготовки обираємо метод виготовлення штампування на молотах, оскільки собівартість виготовлення заготовки даним методом менша на 18,5 грн. за одиницю у порівнянні з виготовленням заготовки з прокату.

#### 4.2 Розрахунок штучного заземлення верстату 16К20Ф3

Розрахунок заземлюючого пристрою полягає у визначенні кількості вертикальних і горизонтальних електродів згідно з вимогами за нормативним опором заземлення  $R_z = 10 \text{ Ом}$ , питомим опором ґрунту  $\rho_{вгм} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . У якості вертикального заземлювача (електроду) використовуємо рівнобічні кутики з полицею 50 мм, прийнятими розмірами електродів 0,040×3 м. Порівняємо розрахунковий опір заземлення з нормативними значеннями [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

1. Обчислюємо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних електродів:

$$\rho_в = \rho_{вгм} \cdot \psi_в \quad (4.4)$$

$$\rho_s = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ (Ом}\cdot\text{м)},$$

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

2. Визначаємо опір розтікання вертикальних електродів із круглої сталі:

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

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

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

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

$$n = \frac{R_s}{R_3 \cdot \eta_s} \quad (4.6)$$

$$n = \frac{33,22}{10 \cdot 1} \approx 4 \text{ шт.},$$

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

4. Обчислюємо довжину горизонтального електрода. При рядовому влаштуванні:

$$l_z = a \cdot (n-1) \quad (4.7)$$

$$l_z = 6 \cdot (4 - 1) = 18$$

де  $a$  – відстань між вертикальними електродами, м;

$$a = 2 \cdot l_g \quad (4.8)$$

$$a = 2 \cdot 3 = 6 \text{ м};$$

$n$  – прийнята кількість вертикальних електродів.

5. Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтального електрода:

$$\rho_z = \rho_{\text{вим}} \cdot \psi_z \quad (4.9)$$

$$\rho_z = 100 \cdot 1.6 = 160 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

де  $\psi_z$  – розрахунковий коефіцієнт сезонності для горизонтальних електродів.

$$\psi_z = 1.6.$$

6. Установлюємо опір резіканню струму для горизонтального електроду:

$$R_z = \frac{\rho_z}{2 \cdot \pi \cdot l_z} \cdot \ln \frac{l_z^2}{b \cdot t_0} \quad (4.10)$$

$$R_z = \frac{160}{2 \cdot 3.14 \cdot 18} \cdot \ln \frac{18^2}{0.04 \cdot 0.6} = 13.49 \text{ Ом}.$$

де  $b_1$  – ширина штаби, м.

7. Загальний опір заземлюючого пристрою:

$$R_0 = \frac{R_6 \cdot R_2}{R_6 \cdot \eta_2 + R_2 \cdot \eta_6 \cdot n} \leq R_3 \quad (4.11)$$

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

$$R_0 = \frac{33,22 \cdot 13,49}{33,22 \cdot 0,89 + 13,49 \cdot 0,81 \cdot 4} = 6,03 \leq R_3 = 10 \text{ Ом.}$$

Отже параметри заземлення вибрані вірно.

### 4.3 Екологічні аспекти використання нафтопродуктів

Використання нафтопродуктів суттєво впливає на довкілля. Основні екологічні аспекти включають наступне.

1. Забруднення повітря. Спалювання нафти та її похідних (бензин, дизель, мазут) призводить до викидів вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), метану ( $\text{CH}_4$ ) та інших парникових газів, що сприяють глобальному потеплінню. Вихлопні гази містять оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) та сірки ( $\text{SO}_2$ ), що спричиняють кислотні дощі. Утворення смогу у містах через викиди автомобільного транспорту.

2. Забруднення води. Розливи нафти в морях та річках призводять до загибелі водних екосистем, знищення рибних ресурсів та довгострокового забруднення води. Стічні води нафтопереробних заводів містять токсичні сполуки, такі як феноли, важкі метали та вуглеводні.

3. Забруднення ґрунту. Витоки з нафтопроводів, аварії на сховищах та неправильна утилізація нафтових шлаків призводять до деградації ґрунтів. Забруднений ґрунт втрачає родючість, а токсичні речовини можуть накопичуватися у рослинах і проникати до харчових ланцюгів.

4. Загроза біорізноманіттю. Розливи нафти завдають чималих збитків екосистемам, знищуючи флору та фауну. Нафтовидобуток руйнує природні ландшафти, порушуючи місця проживання тварин.

5. Виснаження природних ресурсів. Нафта є невідновлюваним ресурсом та її видобуток вимагає значних енергетичних витрат. Розробка нафтових родовищ призводить до руйнування природних ландшафтів, особливо у вразливих екосистемах, таких як Арктика та тропічні ліси.

6. Небезпека здоров'ю людини. Забруднення повітря продуктами згоряння нафти збільшує ризик респіраторних та серцево-судинних захворювань. Робота на нафтопереробних підприємствах пов'язана із впливом токсичних речовин, що збільшує ризик екологічних захворювань.

Розглянемо способи зменшення негативного впливу:

- перехід на альтернативні джерела енергії (сонячна, вітрова, воднева);
- використання чистіших видів палива (газ, біопаливо);
- вдосконалення технологій переробки нафти із зменшенням викидів;
- розвиток електротранспорту та енергозбереження;
- розробка технологій очищення розливів нафти.

Отже, екологічна відповідальність при використанні нафтопродуктів відіграє ключову роль у зниженні їх негативного впливу на природу та здоров'я людини.

## ВИСНОВКИ

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

1. Визначено службове призначення насосу паливного. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме валу поперечного. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно замінника-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  $\varnothing 25js5(\pm 0,0065)$  мм розрахунково-аналітичним та табличним методами для інших поверхонь.

3. Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час фрезерування 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 600 шт. склав 11100 грн. Окрім того, запропоновано технічні та організаційні заходи з охорони праці на підприємстві. Приділено увагу екологічним аспектам використання нафтових продуктів.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик валу поперечного, кресленик валу, кресленик заготовки, складальний кресленик затискного пристосування для фрезерування.