

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: «Виготовлення валу веденого насосу паливного
на підставі річної програми випуску»

КРБ.133ГМбд_41.16.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 *«Галузеве*
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_41
САПРИКІН Владислав

Керівник: докт. техн. наук, професор
ХАРЧЕНКО Сергій

Полтава – 2025 року

ВСТУП

Паливні насоси дизельних двигунів сільськогосподарської техніки відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної роботи машин, таких як трактори, комбайни та інші агрегати. Основне завдання цих насосів – подавати дизельне паливо до інжекторів під необхідним тиском, що дозволяє досягти його оптимального розпилення та повного згоряння.

Види паливних насосів:

- механічні насоси (найчастіше використовуються на старих моделях техніки, працюють за рахунок вакууму, створюваного рухом поршня чи діафрагми, прості в обслуговуванні та надійні, але можуть мати обмеження щодо продуктивності);

- електричні насоси (встановлюються на сучасних моделях та мають високу продуктивність, забезпечують стабільний тиск у системі, що особливо важливо при високих навантаженнях, можуть бути більш чутливими до якості палива та електричних збоїв.

Переваги та значимість:

1) ефективність (правильна робота паливного насоса дозволяє знизити витрату палива, покращити економічність та підвищити продуктивність техніки);

2) надійність (високоякісні насоси сприяють надійній роботі двигуна, знижуючи ризик поломок та простоїв);

3) екологічність (оптимальне згоряння палива допомагає знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу, що особливо важливо у сучасних умовах підвищення екологічних стандартів).

Регулярне технічне обслуговування та заміна паливного фільтра допомагають підтримувати працездатність паливного насоса та всього двигуна загалом. Чистота палива та контроль його якості також відіграють важливу роль у довговічності насосів.

Отже, паливні насоси дизельних двигунів сільськогосподарської техніки – це невід'ємна частина системи, від якої залежить ефективність та надійність роботи

машин. Сучасні технології у цій галузі продовжують розвиватися, що дозволяє сільському господарству працювати ефективніше та екологічно.

Деталь, винесена на розгляд у кваліфікаційній роботі (вал ведений), є складовою частиною паливного насосу.

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 веденого.

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

- проаналізувати службове призначення вузла, здійснити аналіз точності, охарактеризувати конструкційний матеріал, що застосовується 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, здійснити розрахунок слабкої ланки;

- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки деталі, а також здійснити характеристику виробництва 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

Паливний насос є одним з найбільш складних вузлів системи паливopодачі дизелів. Паливний насоси призначені для подачі в циліндри дизеля під певним тиском і в певний момент точно відміряних порцій палива, відповідних даному навантаженню. Необхідний тиск розпилювання створюється рухом плунжера насосу.

На розгляд виноситься паливний насос (рисунок 1.1) для комплектації дизельних двигунів потужністю 10-50кВт.

Рисунок 1.1 – Насос паливний: 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – вал; 4 – шість; 5 – колесо зубчасте; 6 – шайба опорна; 7 – втулка; 8 – втулка різьбова; 9 – пластина; 10 – шайба; 11-13 – диск; 14 – гайка; 15, 16 – гвинт; 17 – кулька; 18 – манжета; 19 – прокладка; 20 – ролик; 21 – шайба

Основна технічна характеристика наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика насоса паливного

Назва параметра	Величина
Робочий тиск, МПа	0,8
Продуктивність, м ³ /хв	0,026
Потужність двигуна, що приводить в рух насос, кВт	1,2
Габаритні розміри, мм	Ø132×150
Маса, кг	6,1

Насос встановлюється у системі паливного забезпечення дизелів, в проміжку між паливопідкачуочим насосом і паливною форсункою, забезпечуючи безперервну подачу палива. Кількість палива яку потребує дизель, в залежності від обертів, регулюється системою, що знаходиться після цього насосу. Паливо потрапляє до насосу через отвір у кришці 2. Переміщення палива здійснюється за рахунок шестерень 5, які розташовані на валах 3 та 4. У насосі передбачено два типи ущільнення: лабіринтне та манжетне. Бузол закріплюється стаціонарно на чотирьох болтах. Деталлю, що вноситься на детальний розгляд, є вал (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Вал

Вал призначений для передачі обертового моменту.

Паливний насос експлуатується у закритому корпусі. Працює при підвищених температурах. Змащення шийок валу здійснюється попереднім змащенням. Змащення веденої і ведучої шестерні здійснюється завдяки вільному потраплянню палива на зубці коліс. Через певний проміжок часу необхідно проводити технічний огляд насосу, тобто перевірку закріплення ущільнювання, очищення системи паливоподачі, а також стан зубчастих коліс.

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].

Рисунок 1.5 – Аналіз параметрів точності

Таблиця 12 – Аналіз параметрів точності

Номер поверхні 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	Отвір центровий	Ø4				3,2
2	Шліцьова					1,6
3	Різьба	M22±0,04	6d			3,2
4	Колова впадина	R2,5				3,2
5	Циліндрична поверхня	Ø22	h10			3,2
6	Циліндрична поверхня	Ø30	h14			3,2
7	Торцева					3,2
8	Торцева					3,2
9	Циліндрична поверхня	Ø16	k6			3,2
10	Торцева					6,3
11	Отвір	Ø5	H11			6,3
12	Отвір	Ø3	H11			6,3

При проведенні аналізу виявлено, що вимоги до точності і шорсткості прийнятні, розміри проставлені раціонально. Найточніша зовнішня поверхня – циліндрична поверхня Ø16k6, шорсткість $R_a=3,2$ мкм, що цілком задовольняє умови роботоздатності.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, замічник

При виготовленні валу у якості матеріалу застосовується сталь марки 45X14H14B2M відповідно до ДСТУ 7807:2015 [24, 37]. Цю сталь можна замінити рядом матеріалів – таких, як 45X, 38XA, 40XH, 4XC, 40XФ, 40XP.

Використовують для виготовлення осей, валів-шестерень, плунжерів, штоків, колінчастих валів, кілець, шпинделів, стравок, рейок, зубчастих вінців, болтів, напівсосим, втулок.

Хімічний склад сталі 45X14H14B2M і сталі замічника 40X22H4M3 наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад матеріалу валу, матеріал-замічник

Матеріал	W	Si	C	Mo	Mn	Ni	P	Cr	S
45X14H14B2M	2,0- 2,8	0,8	0,4- 0,5	0,25- 0,4	0,7	13-15	0,035	13-15	0,02
45X22H4M3		0,1- 1,0	0,4- 0,5	2,5-3	0,85- 1,25	4-5	0,035	21-23	0,03

Механічні характеристики сталі 45X14H14B2M можуть змінюватись в залежності від термічної обробки та стану матеріалу, але в цілому можна виділити наступні параметри:

- стійкість до розтягу (межа міцності): приблизно 800-1000 МПа;
- стійкість до текучості (межа текучості): близько 600-700 МПа;
- видовження 10-15% (залежно від термічної обробки);
- твердість у загартованому стані може досягати 55-60 HRC;
- швидкість зміни довжини (стиск) – зазвичай не менше 5%.

Ці характеристики роблять сталь 45X14H14B2M придатною для застосування в умовах, що вимагають високої міцності та зносостійкості.

Механічні характеристики сталі 45X22H4M3 також залежать від термічної обробки та стану матеріалу, але загалом можна вказати такі параметри:

- межа міцності приблизно 800-1000 МПа;
- межа текучості близько 600-700 МПа;
- видовження 10-15% (залежно від термообробки);
- твердість у загартованому стані може досягати 50-58 HRC.

Ці характеристики роблять сталь 45X22H4M3 придатною для застосування в умовах, що потребують високої корозійної стійкості та механічних властивостей.

Технологічні властивості замітника наступні.

- температура кування, °С: початок – 1160, кінець – 850, переріз до 300 мм – охолоджувати на повітрі;
- зварювання – важкозварювана. Спосіб зварювання: РДЗ, ЕШЗ. Необхідне підігрівання і наступна термообробка;
- оброблюваність різанням – у гарячестановому стані при НВ 229-241 $\sigma_B=610\text{МПа}$, $K_{\text{чтв.спл.}}=0,7$, $K_{\text{V б.ст.}}=0,25$.

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

1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку в деталях валу наливного насоса у кількості 1000 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

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

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

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

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

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

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

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

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Аналіз технологічності – це процес оцінки різних аспектів виробничих та експлуатаційних характеристик виробу або вузла з метою виявлення його ефективності, надійності та зручності у виробництві та обслуговуванні [23]. Цей аналіз може включати такі ключові елементи:

- конструкторські рішення (оцінка конструкції на предмет простоти, надійності та можливості модифікації);
- матеріали (аналіз вибраних матеріалів на міцність, легкість, корозійну стійкість та вартість);
- виробничі процеси (вивчення технологій виробництва, включаючи автоматизацію, методи обробки та складання);
- експлуатаційні характеристики (оцінка надійності, довговічності та енергоефективності вузла чи виробу);
- обслуговування (аналіз зручності доступу до вузлів для ремонту та доступності запасних частин).

Аналіз технологічності допомагає виявити слабкі місця у дизайні та виробництві, а також визначає напрями для покращення, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню конкурентоспроможності та ефективності продукції.

При аналізі вузла на технологічність необхідно перевірити його за рядом факторів, що відповідають технологічності виробу. Якщо вузол не відповідає вимогам технологічності, то необхідно (за можливостю) вжити заходів з поліпшення конструкції. Нижче перераховані основні вимоги до технологічності.

При складанні вузла і встановленні його на машині, роботи підгонки відсутні. Це пояснюється правильним вибором конфігурації деталей, доцільним їх розташуванням, завдяки чому компенсується похибка при встановленні.

Вузол має у своєму складі стандартні та уніфіковані деталі, що значно спрощують його виготовлення. Це можна представити у вигляді коефіцієнтів стандартизації та уніфікації:

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_{cm} = \frac{E_{cm}}{E}, \quad (2.1)$$

$$K_{cm} = \frac{30}{72} = 0,42,$$

де E_{cm} – кількість стандартизованих одиниць,

E – загальна кількість одиниць.

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{yn} = \frac{E_y}{E}, \quad (2.2)$$

$$K_{yn} = \frac{20}{72} = 0,28,$$

де E_y – кількість уніфікованих одиниць,

E – загальна кількість одиниць.

Можливість спрощення з'єднання деталей виключається, так як при цьому зміниться герметичність вузла. У даному випадку з'єднання деталей найпростіше і зменшення кількості деталей виключається. Вузол не має зайвих складових частин. Дана складальна одиниця піддається в умовах експлуатації періодичним розбиранням при ремонті. Вузол технологічний з точки зору процесу розбирання завдяки простому прикріпленню однієї деталі до іншої, наявності різьбового з'єднання і складових частин.

У конструкції вузла передбачені елементи, що забезпечують задану точність розташування її складових частин. Фаски та радіуси заокруглень, виконані на поверхнях складальних одиниць забезпечують гарне центрування.

На основі цих факторів можна зробити висновок, що вузол є технологічним, що приводить до спрощення та скорочення трудомісткості складання, дозволяє не тільки знизити вартість виробів, але й одночасно підвищити їх якість.

Результати аналізу на технологічність деталі наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність деталі

№ з.п.	Показники технологічності	Висновки за показниками технологічності	Дії щодо поліпшення технологічності
1	2	3	4
1	Ступінчасті вали повинні мати невеликі перепади, а довжини ступенів повинні бути однаковими або кратними для можливості обробки деталі на багато-різцевих верстатах.	Оскільки вал обробляється на верстаті з ЧПК, то дана умова нас повністю задовольняє.	Не потрібні.
2	Вали повинні мати центрувальні отвори для базування при обробці і контролі.	Центрувальні отвори на деталі є, отже, дана умова повністю задовольняє.	Не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
	<p>При наявності на валу шпонкової канавки розмір від дна канавки необхідно проставляти від нижнього краю циліндра у випадку базування в призмі. При базуванні в центрах розмір проставляється до центра (осі).</p>	<p>Шпонкової канавки немає. Закріплення зубчастого колеса здійснюється за допомогою кульок.</p>	<p>Не потрібні.</p>

Розглянувши таблицю, можна зробити висновки, що в цілому деталь за більшістю показників є технологічною для умов автоматизованого виробництва.

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

При аналізі діючого технологічного процесу видно, що він розроблений доволі грамотно і до цього важко зробити які-небудь значні доповнення. Єдине, що не задовольняє – це те, що даний технологічний процес написаний для одиничного типу виробництва, а при теперішній економічній ситуації недоцільно налагоджувати виробництво на одиничний тип, а тому основною задачею є перехід на серійний тип виробництва. Це значить, що обов'язково необхідно зробити зміни у технологічному обладнанні. У базовому технологічному процесі використовуються переважно універсальні верстати. Тому при проектуванні даного технологічного процесу необхідно замінити усі універсальні верстати на верстати із ЧПК. Це дещо зменшить час на обробку деталей і у порівнянні з витратами на

підготовку виробництва дасть значний економічний ефект. Крім того, при сьогоdnішній нестабільності в економіці і виробництві, при зміні асортименту продукції, що випускається, переналагодження верстатів не буде викликати особливих затрат.

Крім зміни технологічного обладнання рекомендовано на 020 операції свердлити отвір за один прохід комбінованим різальним інструментом, а саме свердлом-цеківкою

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:

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

де ε – загальне значення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

n – 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 чорншої 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:

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

Пропонуємо наступні обробки поверхонь деталі (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Методи обробки поверхонь деталі

1	2	3	4	5	6	7	Можливі маршрути Обробки поверхонь		10	11	12	13
							8	9				
Позначення поверхні	Квалітет за кресленням	Допуск за кресленням, мм	Шорсткість R _a за кресленням	Допуск заготовки, мм	Квалітет заготовки	Загальне уточнення	Номер маршруту	Перехід МОП	Квалітет після обробки	Досягнений допуск, мм	Коефіцієнт уточнення	Загальне уточнення
1	12	0,12	3,2	1,0	15	8,3	1	Свердління	12	0,12	8,3	8,3
2	9	0,21	1,6	1,0	15	4,8	1	Фрезерування	9	0,21	4,8	4,8
3	6	0,013	3,1	1,0	15	11,9	1	Точіння чорнове	13	0,33	3,0	11,9
							2	Точіння напівчистове	11	0,13	2,5	
							3	Точіння чистове	8	0,033	2,3	
							4	Нарізання різьби	6	0,013	2,0	
4	-	-	-	1,0	15	-	1	Точіння	-	-	-	-
5	10	0,09	3,2	1,0	15	6,9	1	Точіння чорнове	13	0,33	3,0	6,9
							2	Точіння напівчистове	10	0,09	2,5	
							3	Точіння чистове	8	0,033	1,4	
6	8	0,033	6,3	1,0	15	9,4	1	Точіння чорнове	13	0,33	3,0	9,4
							2	Точіння напівчистове	10	0,09	3,0	
							3	Точіння чистове	8	0,033	2,7	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7		-	3,2	-	-	-	1	Точіння	-	-	-	-
8		-	3,2	-	-	-	1	Точіння	-	-	-	-
9	7	0,013	3,2	1,0	15	9,8	1	Точіння чорнове	12	0,18	5,6	9,8
								Точіння напівчистове	9	0,043	4,2	
								Точіння чистове	7	0,018	2,4	
10		-	6,3	-	-	-	1	Фрезерування	-	-	-	-
11	11	0,08	6,3	1,0	15	7,9	1	Свердління	13	0,18	5,6	7,9
								Зенкерування	11	0,08	2,3	
12	11	0,06	6,3	1,0	15	9,4	1	Свердління	13	0,14	7,1	9,4
								Зенкерування	11	0,06	2,3	

Приклад, для обробки поверхні $\varnothing 16h7$. Допуск за кресленням 0,018 мм, допуск заготовки 0,63 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{0,63}{0,018} = 35.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 35}{0,46} \approx 3,4.$$

Отже, необхідно передбачити не менше 3 етапів обробки для даної поверхні.

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

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

Номер та назва операції	Устаткування	Зміст операції
1	2	3
005 Заготівельна		
010 Термічна		
015 Фрезерна		
020 Токарна		
025 Токарна із ЧПК		

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
025 Техарна із ЧПК		15 ^{+0,02} +0,01
030 Свердлильна		
035 Свердлильна		
040 Фрезерна		
045 Фрезерна		

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
050 Шліфувальна		
055 Термічна		
060 Мийна		
065 Контрольна		

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 $\varnothing 16h7/(j_{0,018})$ мм.

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

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

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

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

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:

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

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 $\varnothing 16h7_{(-0,018)}$ мм

Технологічний перехід	Елемент припуску, мкм				Розр. припуск $2Z_{\min}$ мкм	Розр. р-р, d_p , мм	Доп., δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мм	
	R _z	T	Δ	ε				D _{min}	D _{max}	2Z _{max}	2Z _{min}
Заготовка	150	200	332	-	-	18,585	428	18,59	19,02	-	-
Точіння чорнове	75	75	20	100	1393	17,192	270	17,19	17,46	1,56	1,4
Точіння н/ч	50	50	18	100	504	16,688	180	16,69	16,87	0,59	0,5
Точіння чистове	25	25	17	100	403	16,285	80	16,29	16,30	0,57	0,4
Шліфув.	5	10	13	40	303	15,982	18	15,98	16	0,30	0,31
								Σ		3,02	2,61

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

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

$$3020 - 2610 = 428 - 18;$$

$$410 = 410.$$

На рисунку поверхонь деталі припуски визначаються за довідником (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Припуски на обробку поверхонь деталі

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск, мм
1	Центрові отвори	Свердління	4
2	Шліци	Точіння чорнове	1,61
		Точіння напівчистове	0,25
		Точіння чистове	0,14
		Фрезерування	0
3	Різьба метрична M22	Точіння чорнове	1,51
		Точіння напівчистове	0,25
		Точіння чистове	0,14
		Нарізання різьби	0,1
5	Циліндрична Ø22	Точіння чорнове	1,51
		Точіння напівчистове	0,25
		Точіння чистове	0,14
6	Циліндрична Ø30	Точіння чорнове	1,55
		Точіння напівчистове	0,25
		Точіння чистове	0,15

Продовження таблиці 2.5

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск, мм
--------	-----------------------	-----------------------	-------------

9	Циліндрична Ø16	Точіння чорнове	1,39
		Точіння напівчистове	0,51
		Точіння чистове	0,4
		Шліфування	0,29
10	Торці, l=125	Фрезерування	7

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для операції механічної обробки деталі (токарна 040) розробляємо конструкцію затискного пристосування, керуючись рекомендаціями [12, 36, 38, 39]. Складальний кресленник пристосування представлено у графічній частині роботи, а також на рисунку 3.1.

Затиск деталі, що підлягає обробці полягає у затисканні її в центрах за допомогою обертання лівої та правої рукояток.

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне

Пристосування складається із наступних елементів: 1 – рукоятка ліва; 2 – рукоятка права; 3 – гвинт; 4, 5 – вісь; 6, 7 – втулка; 8 – диск ділильний; 9-11 – корпус; 12 – фіксатор; 13, 14 – центр; 15 – стій; 16-19 – болт; 20 – гвинт; 21 – гайка.

Настроювання на задане ділення реалізується за допомогою ділильного диска 8, фіксатор 12 вмикають «від руки» через рейково-зубчасте зчеплення. Тип приводу – ручний.

Прийом пристосування універсальне, тому його можна переналагодити на іншу деталь.

3.2 Розрахунок зусилля затиску

На даній операції максимальна сила різання P_z при фрезеруванні лисок на площині деталі [7, 28, 12, 36, 38, 39].

Сила F_z намагається виштовхнути заготовку паралельно площині закріплення.

Складемо рівняння рівноваги у вигляді $\sum F_{iy} :$

$$F_{TP} - K \cdot P_z = 0 \quad (3.1)$$

$$F_{TP} = W \cdot f \quad (3.2)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Тоді рівняння (3.1) набуде вигляду:

$$W \cdot f - K \cdot P_z = 0.$$

Звідки

$$W = \frac{K \cdot P_z}{f}, \quad (3.3)$$

де $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$ – коефіцієнт запасу;

$K_0 = 1,5$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує стан поверхні деталі;

$K_2 = 1,4$ – коефіцієнт, який враховує затуплення різального інструменту;

$K_3 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перервному різанні;

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує постійність сили затискання;

$K_5 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує ергономіку затискних пристосувань;

$K_6 = 1,0$.

Тоді K дорівнює:

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 3,6.$$

$f = 0,1$ – коефіцієнт тертя.

Силу різання P_z визначимо за формулою:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot F^u \cdot z}{D^q \cdot n^a} \cdot K_p, \quad (3.4)$$

де $t = 2,5$ мм – глибина різання;

$S = 0,1$ мм/зуб – подача;

$F = 3$ мм – ширина фрезерування;

$z = 3$ – кількість зубів фрези;

$D = 3$ мм – діаметр фрези;

$n = 600$ хв⁻¹ – частота обертання фрези;

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

$C_p = 41$; $x = 0,1$; $y = 0,2$; $u = 1,15$; $q = 0,25$; $a = 0,2$ – коефіцієнт та показники степені,

які вибираються за довідниками.

Визначимо силу різання.

$$P_z = \frac{41 \cdot 2,5^{0,1} \cdot 0,3^{0,2} \cdot 3^{1,15} \cdot 3}{3^{0,25} \cdot 600^{0,2}} \cdot 1,1 = 86,6 \text{ (Н)}$$

Визначимо силу, необхідну для закріплення.

$$W = \frac{86,6 \cdot 3,6}{0,1} = 3117,6 \text{ (Н)}.$$

3.3 Розрахунок слабкої ланки на міцність

Розрахунок проведемо для осі поз.5, що має на лівому кінці різьбу М14.
Розрахунок робиться на трізі по формулам опору матеріалів:

$$\tau = \frac{P_{\max}}{F_{\min}} \leq [\tau], \quad (3.18)$$

де P_{\max} – максимальне зусилля затиску, Н

$[\tau] = 70 \text{ МПа}$ – допустиме напруження на трізі,

F_{\min} – площа поперечного перерізу осі:

$$F_{\min} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 12^2}{4} = 113,04 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Тоді:

$$\tau = \frac{3117,6}{113,04} = 27,6 \text{ (МПа)}.$$

$$27,6 \text{ МПа} < 70 \text{ МПа}.$$

Отже робимо висновок, що міцність різьби достатня.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для деталі «Вал», що виготовляється зі сталі 45X14H14B2M за ДСТУ 7808:2015, способи отримання заготовок: прокат та гаряче об'ємне штампування штампування [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Собівартість заготовки, виготовленої з прокату, можна розрахувати за формулою:

$$C = Q \cdot S - (Q - q) \cdot S_{\text{відх}}, \quad (4.1)$$

де Q – маса заготовки з каліброваного прутка, $Q = 1,2$ кг;

q – маса готової деталі, $q = 0,7$ кг;

S та $S_{\text{відх}}$ – відповідно вартість матеріалу прутка та відходів: $S = 125$ грн/кг, $S_{\text{відх}} = 35$ грн/кг [1].

$$C = 1,2 \cdot 125 - (1,2 - 0,7) \cdot 35 = 132,5 \text{ (грн)}.$$

Ціну заготовки виготовленої куванням чи штампуванням, визначаємо за формулою:

$$C_{\text{к,ш}} = [C_{\text{бк,ш}} \cdot G_{\text{к,ш}} \cdot K_{\text{Т}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{П}} \cdot K_{\text{В}} - (G_{\text{к,ш}} - G_{\text{Д}}) \cdot C_{\text{відх}}], \quad (4.2)$$

де $C_{\text{бк,ш}}$ – базова ціна одного кілограму кованок (штамповок), виготовлених з базового матеріалу, з базовою точністю та складністю, грн.; $C_{\text{бк,ш}} = 125$ грн/кг;

$C_{\text{відх}}$ – ціна одного кілограму відходів, грн. $C_{\text{відх}} = 35$ грн/кг;

$G_{\text{Д}}$, $G_{\text{к,ш}}$ – маса відповідно готової деталі та кованки, кг; $G_{\text{к,ш}} = 0,8$ кг;

$K_{\text{Т}}$, $K_{\text{С}}$, $K_{\text{М}}$, $K_{\text{П}}$, $K_{\text{В}}$ – коефіцієнти відповідно точності розмірів конструктивної та технологічної складності заготовки, марки матеріалу, програми ретного замовлення та маси кованки (штамповки): $K_{\text{Т}} = 1,1$; $K_{\text{С}} = 1,1$; $K_{\text{М}} = 1$; $K_{\text{П}} = 1,09$; $K_{\text{В}} = 1,04$.

Підставивши отримані значення, маємо:

$$C_{к,шт} = [120 \cdot 0,8 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,09 \cdot 1,04 - (0,8 - 0,7) \cdot 35] = 117 \text{ (грн.)}$$

Порівнюючи ці методи, можна відмітити, що метод виготовлення заготовки штампуванням дешевший, тому обираємо його.

Економічний ефект у цьому випадку буде становити:

$$E = (132,5 - 117) \cdot 1000 = 15500 \text{ (грн.)}$$

Висновок: як видно із розрахунків, ціна заготовки, отриманої штампуванням, нижча за ціну заготовки із прокату на 15,5 грн. на одиницю продукції.

4.2 Характеристика виробничих умов

Із різних факторів, котрі шкідливо впливають на самопочуття працюючих та викликають захворювання організму найбільш значними є: надлишок тепла, вологість, пил, наявність шкідливих домішок у повітрі, електробезпека, шум, вібрація, освітленість [7, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

Висока температура повітря негативно впливає на життєво-важливі органи і системи людини: серцево-судинну, центрально-нервову, травну, викликає порушення у їх нормальній функціональній діяльності. При найбільш непридатних умовах праці вона може викликати перегрів організму (тепловий удар). А незначне підвищення температури організму приводить до зниження уважності, що може призвести до іншого травматизму.

З підвищенням вологості повітря складаються погані метеорологічні умови: відбувається пошкодження терморегуляції і перегрівання організму, зменшується випаровування поту, а звідси і зменшується віддача організмом тепла. Низька

вологість повітря створює високе випаровування поту, в результаті чого відбувається висока віддача тепла організмом.

На тепловіддачу організму високий вплив має і рух повітря: чим більша швидкість повітря, тим більша тепловіддача організмом людини за рахунок конвекції, а також значно підвищується тепловіддача за рахунок випаровування вологи з поверхні шкіри.

Промисловий пил виникає на машинобудівних підприємствах у зв'язку з рухом транспорту, роботою металорізальних верстатів, виготовленням формуючих сумішей, фарбуванням.

Пил негативно впливає на дихальні шляхи людини, шкіру, органи шлункового тракту.

Пошкодження пиллом верхніх дихальних шляхів супроводжується роздратуванням, а при довгій дії з'являється кашель з появою мокроти. Найбільш поширеними видами пилу є кварцова, вугільна, алюмінієва, талькова. Серед них кварцова являється самою шкідливою.

При праці у запилених приміщеннях можливе подразнення органів зору пиллом, що призводить до запалення слизових оболонок. Попавши в око металевий пил може визвати травму рогівки ока, а абразивний пил може визвати помутніння рогівки.

Під дією шуму високої інтенсивності, орган слуху втомлюється, в результаті чого може визватися туговухість та глухота, які проявляються через декілька років. В початковій стадії захворювання виникають головний біль, дзвін та шум у вухах. Потім ці симптоми з'являються дедалі частіше. Барабанна перетинка потовщується та злегка витягується, відбуваються зміни в нервових закінченнях слухового нерва. Одночасно відбувається перевтома підкоркових слухових центрів, що призводить до порушення живлення чуттєвих клітин.

Шум високої та середньої чутливості в першу чергу поразляє центральну нервову систему, а потім органи слуху. Він являється причиною швидкої втомлюваності та зниження працездатності. Сильний шум нерідко викликає у людей

головний біль, запаморочення, відчуття страху, безпричинну роздратованість, нестійкий емоційний стан. Він приводить до зниження концентрації уваги, послаблює пам'ять робітників, тим самим створюючи умови для виникнення травм та зниження продуктивності праці.

Інтенсивний шум викликає зміни в серцево-судинній системі, з'являється аритмія, інколи змінюється артеріальний тиск, що ослаблює організм робітника.

Вібрація, так само як і шум негативно впливає на виробничий процес. Вона представляє собою коливання руху матеріальних тіл з частотою 12 -8000 Гц, які сприймаються працюючими безпосередньо при контакті з коливальними поверхнями. Коливання з частотою до 12 Гц сприймаються як окремі поштовхи. Механічні коливання найчастіше всього виникають за рахунок періодичних сил, які виникають за рахунок поштовхів, ударних навантажень, поштовхів ударних мас.

Вібрація безпосередньо впливає на організм людини, викликаючи при цьому безпосередньо втому, збільшується можливість нещасних випадків та знижується продуктивність праці. Найбільш шкідливо впливають вібрації, частота котрих співпадає з власними частотами коливань окремих частин тіла людини.

Сучасне виробництво невід'ємно пов'язане з використанням електричної енергії. Найбільш часто нещасні випадки трапляються через пошкодження ізоляції, ненадійного заземлення (занулення) електрообладнання, використання неінвентарних переносних світильників та нагрівальних приладів, недостатнього технічного нагляду за станом електроустановок.

Ураження електричним струмом може трапитися у наступних випадках:

- а) внаслідок безпосереднього дотику до провідників або устаткування та механізмів, що знаходяться під напругою;
- б) при дотику до конструктивних металічних частин електроприладів, що знаходяться під напругою внаслідок зварійного стану обладнання;
- в) під дією крокової напруги в місцях розтікання струму в землі (при обриві повітряних ліній електропередач);

- г) при помилкових діях персоналу, що обслуговує електрообладнання й інші механізми, коли подається напруга на установки, де працюють люди;
- д) внаслідок дії атмосферної електрики або електричної дуги;
- е) при звільненні від струму людини, що знаходиться під напругою.

Недостатня освітленість робочих місць призводить до погіршення зору, підвищеної чутливості очей, яка супроводжується сльозотечею, а в подальшому до запалення слизистої оболонки, роговиці або райдужної оболонки очей. Наслідком цього може бути підвищена втомлюваність, зниження продуктивності праці і збільшення браку продукції, а також зниження реакції на небезпеку.

У виробничій діяльності та в побуті людина застосовує два види освітлення – природне та штучне. Інколи вона застосовує одночасно обидва. Для людини біологічно більш сприятливе природне освітлення, воно відрізняється від штучного за інтенсивністю та спектральним складом. Тому основним напрямком розвитку світлотехніки є створення у рамках економічної доцільності таких штучних світильників, які б найбільш близько відповідали природному освітленню.

При роботі на шліфувальних верстатах травми можуть бути нанесені в результаті розриву шліфувальних кругів. Розрив круга може бути викликаний різними причинами: неправильний вибір режиму роботи, неправильне встановлення та кріплення круга на верстаті, дефекти круга.

При роботі на фрезерних верстатах основними причинами, які можуть викликати нещасні випадки, являється можливість доторкання руки працюючого до обертаючої фрези, відкидання фрези, розрив та відлітання фрези під дією центр обіжної сили, недостатнє закріплення ножів фрези.

При обробці металів виникають три види стружки: сколювання, надлому та зливна. Стружка зливна представляє найбільшу небезпеку для верстатника. Стружка, що відлітає виникає при обробці в'язких металів різцями, які оснащені стружкоподрібнюючими пристроями, а також при обробці чавуну. При швидкісній обробці чавуну, відлітаюча стружка утворює факел, у вигляді конуса з вершиною у місці відділення, тому основним захистом від стружки являються захисні окуляри,

маска, захисні світлопроникні щитки, екрани та огороження, стружковідводники та стружкоуловлювачі.

Врахування наведених вище шкідливих впливів дозволить зберегти здоров'я робітників, зробити виробництво більш безпечним та підвищити продуктивність праці.

4.3 Утилізація як спосіб збереження довкілля

Утилізація на машинобудівному підприємстві – це важливий процес, який сприяє не лише покращенню екологічної ситуації, а й підвищенню економічної ефективності бізнесу. Розглянемо основні аспекти цього процесу докладніше.

1. Зниження відходів. Однією з головних переваг утилізації є скорочення обсягів відходів. На машинобудівних підприємствах утворюються різні види відходів: металеві стружки, залишки пластику, гуми та інші матеріали). Їх правильна утилізація дозволяє:

- мінімізувати кількість відходів, що спрямовуються на звалища, що знижує навантаження на навколишнє середовище;
- замість дорогих послуг із вивезення відходів підприємства можуть переробляти їх самостійно.

2. Переробка матеріалів. Чимало компонентів, які у машинобудуванні, можуть бути перероблені). Наприклад:

- метали (сталеві та алюмінієві відходи можна переробляти та використовувати у виробництві нових деталей, що знижує потребу в первинних ресурсах);
- пластики (пластикові компоненти, такі як ізоляційні покриття або упаковка, також можна переробляти, що сприяє зменшенню забруднення).

Переробка матеріалів не лише скорочує обсяги відходів, а й значно знижує витрати на закупівлю нових сировинних матеріалів.

3. Економія ресурсів. Процес утилізації та переробки дозволяє:

- заощаджувати природні ресурси (за рахунок повторного використання матеріалів знижується потреба у видобутку нових. Це особливо актуально для ресурсів, що виснажуються);

- знижувати енерговитрати (переробка потребує менше енергії, ніж виробництво нових матеріалів, що веде до зменшення викидів парникових газів).

4. Зниження вуглецевого сліду. Утилізація допомагає:

- скоротити викиди CO₂ (процеси утилізації часто менш енергоємні, ніж видобуток та переробка нових матеріалів. Це безпосередньо впливає на зменшення вуглецевого сліду підприємства);

- стимулювати використання екологічно чистих технологій (чимало компаній впроваджують інноваційні рішення для ефективної переробки, що також впливає на загальну екологічну ситуацію).

5. Дотримання норм та стандартів. Дотримання екологічних норм і стандартів стає все більш важливим для бізнесу:

- компенсація (ефективна утилізація дозволяє підприємствам відповідати місцевим та міжнародним екологічним стандартам);

- поліпшення іміджу (підприємства, які активно займаються утилізацією та демонструють свою екологічну відповідальність, можуть підвищити свою репутацію та залучити клієнтів, орієнтованих на сталий розвиток).

6. Інноваційні технології. Впровадження нових технологій для утилізації може призвести до:

- створення нових бізнес-моделей, наприклад, використання відходів для створення нових продуктів чи енергетичних ресурсів;

- підвищення ефективності (автоматизація процесів утилізації дозволяє знизити витрати та підвищити продуктивність).

7. Освіта та обізнаність. Утилізація не тільки покращує екологічну ситуацію, а й підвищує рівень поінформованості серед працівників:

- навчання та тренінги (впровадження програм з утилізації та переробки сприяє підвищенню екологічної поінформованості серед працівників);

- культура сталого розвитку (створення культури, орієнтованої на стійкість та турботу про екологію, може стати основою для подальшого розвитку бізнесу).

Таким чином, утилізація на машинобудівному підприємстві є ключовим елементом, що сприяє екологічній стійкості та економічній ефективності. Вона допомагає знизити негативний вплив на довкілля, оптимізувати виробничі процеси та підвищити конкурентоспроможність компанії. Важливо, щоб підприємства продовжували розвивати свої стратегії утилізації та впроваджувати інноваційні підходи до управління відходами.

ВИСНОВКИ

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

1. Визначено службове призначення паливного насосу. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме валу. 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 $\varnothing 16h7_{(-0,018)}$ мм розрахунково-аналітичним методом, на решту поверхонь – табличним способом.

3. Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час операції фрезерної обробки валу. Визначено зусилля затиску. 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 15500 грн. Окрім того, проаналізовано виробництво з точки зору небезпечності та шкідливості. Приділено увагу утилізації як способу збереження довкілля.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик насоса паливного, кресленик валу, кресленик заготовки валу, складальний кресленик затискного пристосування для виконання фрезерної операції механічної обробки.