

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 машинобудівного виробництва із виготовлення
циліндричного валу приводу зчеплення»

КРБ.133ГМбд_41.03.00.00.000 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
БУДЯКОВ Дмитро

Керівник: докт. техн. наук, професор
ХАРЧЕНКО Сергій

Полтава – 2025 року

ВСТУП

Як відомо, муфта зчеплення (муфта вимикання зчеплення) являє собою вузол фрикційного зчеплення у трансмісії із ручним керуванням. Вона є компонентом приводу зчеплення, що забезпечує його вимикання під час зміни передач.

У фрикційному зчепленні перед перемиканням передач необхідно призупинити обертовий момент. Виконується ця операція за рахунок роз'єднання двох дисків – натискного та веденого. Відведення натискного диску здійснюється за допомогою муфти вимикання зчеплення. З часом цей виріб зношується і потребує заміни.

Саме тому розробка та удосконалення деталей машин та обладнання сільськогосподарського виробництва є важливою науково-технічною задачею [32].

Отже деталь, винесена на розгляд у кваліфікаційній роботі, а саме вал, є складовою частиною вузла, що призначений для вимикання зчеплення у тракторі.

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

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 розрахунково-аналітичним методом, а також табличним методом;

- сконструювати затискне пристосування для механічної обробки, а також визначити зусилля затиску, розрахувати слабку ланку на міцність,

- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки деталі, а також запропонувати технічні та організаційні заходи із охорони праці, розкрити сутність закону внутрішньої динамічної рівноваги;
- 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 привод зчеплення (рисунок 1.1). Розташовується у кабіні трактора.

Рисунок 1.1 – Вузол приводу зчеплення:

1 – тяга; 2 – корпус; 3 – вісь; 4 – рукоятка; 5 – кронштейн; 6 – вал; 7 – корпус;
8 – кришка; 9 – шпилька; 10 – кільце сальникове; 11 – вилка вимикання зчеплення;
12 – важіль валу вилок вимикання; 13 – втулка натискна; 14 – шпелка сегментна;
15 – вилка; 16 – конус; 17 – заглушка

Для відключення муфти приводу зчеплення зчеплення необхідно виконати наступні дії.

1. Повернути за годинниковою стрілкою рукоятку (поз.4) при цьому, внаслідок повороту корпусу (поз.2) та встановленому на ньому кривошипу, відбувається поздовжнє переміщення тяги (поз.1).

2. Рух тяги (поз.1) впливає на розворот за дугою за годинниковою стрілкою важеля валу вилок вимикання (поз.12).

3. Внаслідок повороту важеля валу вилок вимикання (поз.12), який затиснутий за допомогою болта (поз.23) на валу вилок вимикання (поз.6) відбувається проворот останнього.

4. Закріплена на валу (поз.6) вилка вимикання зчеплення (поз.11), при провороті валу, за допомогою сухарів, виконується рух натискної втулки (поз. 13) в напрямку важеля муфти зчеплення.

5. При контакті упорного підшипника (поз.39), який закріплений на натискній втулці (поз.13) з важелем муфти зчеплення, відбувається відключення муфти зчеплення.

6. При знятті зусилля з рукоятки (поз.4) при зворотному русі всіх вказаних вище деталей відбувається відключення муфти.

Деталлю, що виноситься на детальний розгляд, є вал (рисунок 1.2)

Рисунок 1.2 – Вал

Деталь «Вал» або вал вилок вимикання служить для передачі руху від рукоятки (поз.4) до вилок вимикання зачеплення (поз.11) за допомогою шпонкового з'єднання (рисунок 1.1). Для виготовлення даної деталі використовують сталь 45 за ДСТУ 7809-2015. Так як деталь має форму вісі, а не ступінчастого валу, то отримувати заготовку рекомендується відрізанням із прутка.

1.2 Аналіз параметрів точності

При проведенні аналізу параметрів точності деталі «Вал» заповнюємо таблицю 1.1 (рисунк 1.3), у якій наведені дані про точність виготовлення та якість обробки [3, 9, 11, 13, 18, 21, 25, 29, 40, 47, 48].

Таблиця 1.1 – Аналіз точності деталі «Вал»

Номер поверхні деталі	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносного положення	Шорсткість R_a
1	2	3	4	5	6	7
1	Циліндрична поверхня	$\varnothing 25^{+0,065}_{-0,11}$	d10		–	1,6
2	Бокові поверхні шпонкового пазу	$6^{-0,012}_{-0,042}$	Р9	–		3,2
3	Бічні поверхні шпонкового пазу	$6^{-0,012}_{-0,042}$	Р9	–	–	3,2

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7
1	Циліндрична поверхня	$\varnothing 18_{-0,43}$	h14	–	–	6,3

Рисунок 1.3 – Аналіз параметрів точності валу

Виконавши аналіз параметрів точності деталі зроблено висновок про те, що шорсткість поверхні відповідає вимогам точності. Найточніший розмір мають поверхні 2, 3 (бокові поверхні шпонкового пазу, 9 квалітет). Найнижча шорсткість Ra 1,6 мкм у поверхні 1 (циліндрична поверхня). Деталь легко виготовляється в умовах серійного виробництва.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

Вал виготовлено зі сталі 45 за ДСТУ 7809-2015. Цю сталь можна замінити рядом матеріалів – таких, як сталі 40Х, 50, 50Г2.

Дану сталь використовують для виготовлення таких деталей 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 [24, 37].

Хімічний склад і властивості матеріалу наведені нижче в таблиці 1.2. Також у цій таблиці приведено марку, хімічний склад та властивості матеріалу, яким можна замінити базовий матеріал.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад матеріалу деталі «Вал»

Сталь	C	Mn	Si	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	Твердість НВ	P	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
40Х	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	470-655	143-243	0,035	0,5-1,1	0,3	0,3	0,035

Технологічні властивості сталі 45:

- температура кування, °С: початок – 1250, кінець – 700, переріз до 400 мм – охолоджувати на повітрі;
- зварювання – важко зварювана. Спосіб зварювання: РДЗ, КТЗ. Необхідне підігрівання і наступна термообробка;
- оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при НВ 170-179 та $\sigma_{\text{в}}=640$ МПа, $K_{\text{VТВ.СПЛ.}}=1$; $K_{\text{V б.ст.}}=1$;
- 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 деталі «Вал» приводу зчеплення у кількості 550 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

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

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

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

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

Приймаємо рівнім 2-3% від сумарної кількості виробів, що формують програму випуску та йдуть на за частини.

$$N_{\text{зап}} = (550 + 0,04 \cdot 550) \cdot (1 + 0,025) = 586 (\text{шт.}).$$

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

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Конструкція вузла відповідає усім технічним та експлуатаційним вимогам. У даному виробі широко застосовуються стандартні вироби, але основна частина деталей виготовляється безпосередньо для даного вузла [23].

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:

$$C_m = \frac{N_{ct}}{n} \quad (2.1)$$

де n – загальна кількість деталей;

N_{ct} – кількість стандартних деталей.

$$C_m = \frac{61}{78} = 0,78.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$y = \frac{N_{yn}}{n} \quad (2.2)$$

де n – загальна кількість деталей;

N_{yn} – кількість уніфікованих деталей.

$$y = \frac{15}{78} = 0,19.$$

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

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

Технологічність конструкції вузла суттєво впливає на технологічність процесу виготовлення даної деталі. Ця деталь повинна бути виготовлена для виготовлення в умовах серійного виробництва, оскільки витрати на налагодження верстатів будуть порівняно невисокі з економією матеріалу. Основні та спеціальні вимоги до технологічності деталі заносяться до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність валу

№ з.п.	Показники і вимоги до технологічності	Висновки за показниками технологічності	Заходи з покращення технологічності
1	2	3	4
1	Ступінчасті вали повинні мати великі перепади, а довжини ступенів повинні бути однаковими або кратними для можливості обробки деталі на багаторізьбових верстатах.	Оскільки вал обробляється на верстаті із ЧПК, то дана умова нас повністю задовольняє.	-

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
2	Вали повинні мати центрувальні отвори для базування при обробці і контролі.	Дана умова повністю виконується.	-
3	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 центру (осі).	Дана деталь не має шпонкової канавки.	-

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

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

Виготовлення валу у базовому варіанті здійснювалося на універсальних верстатах. Ми пропонуємо перехід на обладнання із ЧПК застосовувався стандартний різальний інструмент. Використання ж прогресивного різального інструмента дозволить зменшити кількість переходів механічної обробки поверхонь, а також зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище завдяки використанню екологічних мастил та мінімальному їх застосуванню при охолодженні зони різання.

Також для контролю застосовувалися універсальні контрольні-вимірні прилади. Це збільшує час вимірювання, а разом з тим і штучний час. Нами запропоновано використовувати спеціальний вимірний та контрольний інструмент.

Спосіб зривання заготовки валу пропонується із прокату.

2.3 Маршрут обробки поверхні

Різні поверхні деталей 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:

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

де ε – загальне значення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

n – число ступенів обробки;

T_3, T_1, T_i – відповідно часу 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 $\varepsilon = 3 \dots 4$, 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 – Методи обробки валу

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	9	0,052	1,6	2,5	16	12,3	1	Точіння попердне	12	0,42	5,23	
							2	Точіння чистове	11	0,23	3	
								Шліфування одноразове	9	0,052	2,6	12,3
								Точіння попердне	12	0,42	5,23	
								Точіння чистове	11	0,23	3	
								Точіння тонке	9	0,052	2,6	12,3
2,3	14	0,032	3,2	3,0	16	9,56	1	Фрезрування одноразове	9	0,032	2,55	9,56
4	14	0,43	6,3	4,5	16	21,3	1	Точіння одноразове	14	0,43	6,2	21,3

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 обробки деталі

Маршрут обробки деталі будуємо на основі етапів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва та базування (таблиця 2.3, рисунок 1.3).

Таблиця 2.3 – Принципова схема маршруту обробки валу

№ операції	Обладнання	Зміст операції
1	2	3
005 Заготівельна	Пилка механічна	
010 Термічна	Піч термічна	М
015 Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний верстат моделі 21042	
020 Токарна	Токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі 16K20Ф3	

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
025 Шліфувальна	Безцентрово-шліфувальний верстат моделі 3E184BM	
030 Фрезерна	Горизонтально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 6K81T	
035 Слесарна	Верстак слюсарний	
040 Контрольна	Стіл ВТК	
045 Гальванічна		

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 $\varnothing 20d9 \begin{pmatrix} -0,065 \\ -0,117 \end{pmatrix}$ мм.

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

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

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;

δ_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.

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot Z_{\max} - 2 \cdot Z_{\min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}} \quad (2.7)$$

$$2 \cdot 415 - 2 \cdot 3167 = 1300 - 52;$$

$$1248 = 1248.$$

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

Таблиця 2.4 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці $\varnothing 20d9^{(-0,065)}_{(-0,117)}$ мм

Технологічний перехід	Величина, що визначається, мкм			$2Z_{\min}$, мкм	d_p , мм	Допуск на розмір, δ , мкм	Граничний розмір, мкм		Граничний припуск, мкм	
	K	H	ε_y				D_{\min}	D_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Прокат	125	150	1125	-	23,053	1300	23,05	24,35	-	-
Точіння чорнове	63	60	0	2800	20,253	210	20,25	20,46	2800	3890
Точіння напівчистове	32	30	0	246	20,007	130	20,01	20,14	240	320
Шліфування однеразове	10	20	0	124	19,883	52	19,883	19,935	127	205
Сума									3167	4415

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
$\varnothing 18$	0,43	2,5	$\varnothing 23^{+0,05}_{-0,05}$

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для операції механічної обробки валу розробляємо конструкцію затискного пристосування для операції фрезерної обробки на металорізальному верстаті, керуючись рекомендаціями [12, 36, 38, 39]. Складальне креслення пристосування представлено у графічній частині роботи та на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне: 1 – важіль; 2 – гайка; 3 – рукоятка; 4 – упор; 5 – штурвал; 6 – плита; 7, 22 – корпус; 8, 29, 30 – кришка; 9 – черв'як; 10 – колесо черв'ячне; 11 – шпindel; 12 – сапун; 13 – кришка; 14 – оправка цангова; 15 – цанга; 16 – гайка спеціальна; 17 – упор; 18, 21, 28 – втулка; 19 – кільце; 20 – шпонка; 23 – піноль; 24 – центр; 25 – контргайка; 26 – пружина; 27 – пресмаслянка; 31 – ексцентрик; 32, 33 – болт; 34, 35 – гайка; 36, 37 – гвинт; 38 – кільце; 39 – шайба; 40 – шпонка; 41 – штифт

Перевагою такого пристосування є наявність центрів, що одночасно центрують і затискають заготовку. Точне центрування вздовж вісі x здійснюється за допомогою центру поз.24 та цанги поз.15 (рисунок 3.1). Досягнення точності лінійних розмірів витримується за допомогою упору поз.17. Повертання заготовки на 90° для обробки пазу здійснюється поворотом штурвалу поз.5, який передає обертальний рух на цангову оправку поз.14 за допомогою зачеплення черв'яка поз.9 та черв'ячного колеса поз.10.

3.2 Розрахунок зусилля затиску

Під час визначення зусилля затиску використовуємо літературні джерела [12, 36, 38, 39].

Затискне пристосування повинно надійно затиснути оброблювану деталь, яка в процесі фрезерування знаходиться під дією колового та осевого зусилля різання. При цьому деталь закріплена таким чином, що зусилля затиску не викликає її деформації.

Для розрахунку затискних елементів пристосування потрібно визначити зусилля затиснення. Під дією зусилля затиску на цанзі виникають сили тертя, котрі під час фрезерування утримують деталь від зрушення. З врахуванням забезпечення надійності сили:

$$W = \frac{\beta \cdot P_z \cdot d_0}{2f}, \quad (3.1)$$

де β – коефіцієнт надійності затиску ($\beta=1,3-1,5$);

P_z – сила різання, Н;

d_0 – ширина пазу фрезерування, мм;

f – коефіцієнт тертя ($f=0,1-0,15$).

Сила різання при фрезеруванні шпонкового пазу:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_p, \quad (3.2)$$

де $t = 0,3$ мм – глибина різання;

$S = 0,18$ мм/зуб – подача;

$B = 6$ мм – ширина фрезерування;

$z = 2$ – кількість зубів фрези;

$D = 6$ мм – діаметр фрези;

$n = 700$ хв⁻¹ – частота обертання фрези;

$K_p = 0,74$ – загальний поправочний коефіцієнт.

$C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1,0$; $q = 0,86$; $\omega = 0$ – коефіцієнт та показники степеню, які вибираються з таблиць.

Визначимо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 0,3^{0,86} \cdot 0,18^{0,72} \cdot 6^{1,0} \cdot 2}{6^{0,86} \cdot 700^0} \cdot 0,74 = 134 \text{ (Н)}.$$

$$W = \frac{1,5 \cdot 134 \cdot 6}{2 \cdot 0,15} = 4020 \text{ (Н)}.$$

Отже, зусилля затиску становить 4020 Н.

3.3 Розрахунок слабкої ланки

Однією з найслабкіших ланок механізму затискного пристосування, на нашу думку, є різьба М52 на оправці 14. Проведемо її розрахунок на міцність. Умова міцності має наступний вид:

$$\sigma_p = \frac{W}{A_p} \leq [\sigma]_p \quad (3.3)$$

де σ_p – діюче напруження розтягу, МПа;

A_p – площа навантаженого перерізу, м²;

$$A_p = \frac{3,14 \cdot (47 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1734,1 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{)}. \quad (3.13)$$

Отже,

$$\sigma_p = \frac{4020}{1734,1 \cdot 10^{-6}} = 2,32 \text{ (МПа)}.$$

Так як, діюче напруження становить 2,32 МПа, а допустиме 100 МПа, то можна зробити висновок, що різьба має достатню міцність.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Проаналізуємо два найбільш прийнятних методи виготовлення заготовки валу приводу зчеплення: прокат і штампування [1, 4, 5, 30, 34, 49].

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

Точність розмірів штампуванням в закритих штампах 13...15 квалітет, шорсткість поверхні по $R_z - 80 \dots 20$, коефіцієнт використання матеріалу заготовки – $0,85 \dots 0,95$.

При отриманні деталі з прокату маса заготовки буде становити:

$$m_{\text{заг}} = \frac{1,55}{0,5} = 3,1 \text{ (кг)}$$

при штампуванні у закритих штампах:

$$m_{\text{заг}} = \frac{1,55}{0,9} = 1,72 \text{ (кг)}$$

Собівартість виготовлення заготовки визначається за формулами:

Прокат:

$$C = m_{\text{заг}} S - (m_{\text{заг}} m_{\text{д}}) S_{\text{відх}} \quad (4.1)$$

де $m_{\text{заг}}$ – маса заготовки, кг;

S – вартість 1 кг матеріалу заготовки, $S = 25$ грн.;

$S_{\text{відх}}$ – вартість металобрухту, $S_{\text{відх}} = 10$ грн.;

$m_{\text{д}}$ – маса деталі, кг.

$$C = 3,1 \cdot 25 - (3,1 - 1,55) \cdot 10 = 62 \text{ (грн.)}$$

Штапування у закритих штампах визначаємо за формулою (4.2):

$$C_{к,ш} = [C_{бк,ш} \cdot G_{к,ш} \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_M \cdot K_{II} \cdot K_B - (G_{к,ш} - G_d) \cdot C_{відх}], \quad (4.2)$$

де $C_{бк,ш}$ – базова ціна одного кілограму кованок (штамповок), виготовлених з базового матеріалу, з базовою точністю та складністю, грн.; $C_{бк,ш} = 25$ грн/кг;

$C_{відх}$ – ціна одного кілограму відходів, грн. $C_{відх} = 10$ грн/кг.

$G_d, G_{к,ш}$ – маса відповідно готової деталі та кованки, кг;

$K_T, K_C, K_M, K_{II}, K_B$ – коефіцієнти відповідно точності розмірів, конструктивної та технологічної складності заготовки, марки матеріалу, програми річного замовлення та маси кованки (штамповки): $K_T = 1,1$; $K_C = 1,13$; $K_M = 1,2$; $K_{II} = 1,27$; $K_B = 1,16$ [4, 34].

Підставляючи отримані значення, маємо:

$$C_{к,ш} = [25 \cdot 1,72 \cdot 1,1 \cdot 1,13 \cdot 1,2 \cdot 1,27 \cdot 1,16 - (1,72 - 1,55) \cdot 10] = 92,8 \text{ (грн.)}$$

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

$$E = (92,8 - 62) \cdot 550 = 16940 \text{ грн.}$$

Остаточно приймаємо спосіб виготовлення заготовки деталі – прокат.

4.2 Розрахунок місцевого освітлення та захисного занулення

Розрахунок місцевого освітлення робочого місця робітника механічного цеху проводимо точковим методом [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

У загальному випадку світловий потік лампи дорівнює:

$$\Phi_{л} = \frac{1000 \cdot E_{н} \cdot k}{\mu \cdot \sum e_i \cdot \psi_i}, \quad (4.3)$$

де $E_{н}$ – нормативна освітленість, лк. Для складальних та робіт підгонки приймаємо $E_{н}=50$ лк;

k – коефіцієнт запасу, приймаємо для світильника: $k=1,3$;

μ – коефіцієнт додаткової освітленості, яка створюється віддаленими світильниками та відбитим світлом, приймаємо $\mu=1,1$;

$\sum e_i \cdot \psi_i$ – умовна освітленість контрольної точки від сумарної дії «найближчих» світильників, лк.

e_i – умовна освітленість від i -го світильника, яка створюється лампою із світловим потоком 1000 лм, лк. При висоті на якій знаходиться світильник від поверхні верстака слюсаря ($h=3$ м) та відстані від найбільш віддаленої точки столу верстака до світильника ($d=1,5$ м) умовна освітленість складатиме $e_i=20$ лк;

ψ_i – перепадний коефіцієнт, який для похилої площини розраховується за формулою:

$$\psi_i = \cos \alpha + (d_i \cdot \sin \alpha / h_i), \quad (4.4)$$

де α – кут нахилу світильника. $\alpha=30^\circ$.

Тоді:

$$\psi_i = \cos 30^\circ + (1,5 \cdot \sin 30^\circ / 3) = 1,12.$$

Після перетворення формули (4.3) фактична освітленість дорівнює:

$$E_n = \frac{\Phi_n \cdot \mu \cdot \sum e_i \cdot \psi_i}{1000 \cdot k}, \quad (4.5)$$

Якщо світловий потік ламп $\Phi_n=2800$ лк, то після підстановки значень, отримаємо:

$$E_n = \frac{2800 \cdot 1,1 \cdot 20 \cdot 1,12}{1000 \cdot 1,3} = 53,1 \text{ (лм)}.$$

Так як розраховане значення мінімально перевищує нормативне (50 лк) з інших ламп, то світильник із таким розміщенням відносно робочого місця слюсаря та з лампою такого типу, потужності (200 Вт) підходить до використання.

Розрахуємо систему захисного занулення при потужності трансформатора 1000кВт, схема з'єднання обмоток трансформатора – зірка, електродвигун асинхронний, серії 4А, $U=380$ В, $n=3000$ хв⁻¹, тип 4А160М2 [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

1. Перевіряємо умову забезпечення відмикаючої здатності занулення:

$$I_{кз} \geq 3 \cdot I_{пл.вст.}^H \quad (4.6)$$

$$I_{кз} = U_{\phi} (z_T / 3 + z_{II}), \quad (4.7)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга, В;

Z_{II} – опір петлі фаза-нуль, яке визначається за формулою:

$$Z_{II} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{H})^2 + (X_{\phi} + X_{H} + X_{II})^2}, \quad (4.8)$$

де R_{ϕ} , R_{H} – активний опір фазного та нульового провідників, Ом,

X_{ϕ} , X_{H} – внутрішній індуктивний опір фазного та нульового провідників, Ом;

X_{II} – зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль, Ом.

2. Визначимо номінальний опір трансформатора Z_T . При розрахунках занулення $Z_T=0,081$.

За довідковими матеріалами знаходимо основні технічні характеристики електродвигуна серії 4A160M2: $P=18,5$ кВт; $n=3000$ хв¹; $\cos\alpha=0,92$; $I_{пуск}/I_{ном}=7,5$.

3. Визначимо номінальний струм електродвигуна:

$$I_{эл.дв}^H = P \cdot 1000 / (\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\alpha). \quad (4.9)$$

$$I_{эл.дв}^H = 18,5 \cdot 1000 / (\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,92) = 30,6 \text{ (А)},$$

де P – номінальна потужність двигуна, кВт;

U_H – номінальна напруга, В;

$\cos\alpha$ – коефіцієнт потужності.

4. Розраховуємо пусковий струм електродвигуна:

$$I_{эл.дв}^{пуск} = 7,5 \cdot 30,6 = 229,5 \text{ (А)}.$$

Розраховуємо струм плавкої вставки:

$$I_{пл.вст}^H = I_{эл.дв}^{пуск} / a. \quad (4.10)$$

$$I_{пл.вст}^H = 229,5 / 2 = 114,8 \text{ (А)},$$

де a коефіцієнт режиму роботи ($a=1,6 \dots 2,5$).

5. Визначимо очікуване значення струму короткого замикання:

$$I_{кз} \geq 3I_{пл.вст}^H \quad (4.11)$$

$$I_{кз} = 3 \cdot 114,8 = 344,4 \text{ (А)}.$$

Задаємо стандартний переріз провідника $4 \cdot 40$ мм, та розраховуємо щільність струму:

$$\delta = I_{\text{кз}} / S. \quad (4.12)$$

$$\delta = 344,4 / (4 \cdot 40) = 2,2 \text{ (А / мм}^2\text{)}.$$

Для розрахунку активних опорів R_H , R_Φ задаємося перерізом, довжиною нульового l_H та фазового l_Φ провідників, виконаних зі сталі: $l_H=30$ м, перерізом 40×4 мм, $S=160$ мм²; $l_\Phi=100$ м, перерізом $\varnothing = 8$ мм, $S=50,27$ мм².

Переріз нульового дроту і його матеріал обираємо виходячи з умови, що повна провідність нульового дроту була не менша 50% повної провідності фазового дроту:

$$\frac{1}{R_H + X_H} \geq \frac{1}{2(R_\Phi + X_\Phi)}. \quad (4.13)$$

Активний опір обираємо в залежності від площі перерізу і щільності струму

$$R_\Phi = r \cdot l_\Phi. \quad (4.14)$$

$$R_\Phi = 6,4 \cdot 0,1 = 0,64 \text{ (Ом)}.$$

Аналогічно визначаємо активний опір нульового дроту:

$$R_H = r \cdot l_H. \quad (4.15)$$

$$R_H = 1,81 \cdot 0,03 = 0,05 \text{ (Ом)}.$$

7. Визначаємо внутрішній індуктивний опір фазного та нульового дроту:

$$X_{\Phi} = I_{\Phi} \cdot X_{\omega}. \quad (4.16)$$

$$X_{\Phi} = 0,1 \cdot 3,84 = 0,38 \text{ (Ом)}.$$

$$X_{H} = I_{H} \cdot X_{\omega}. \quad (4.17)$$

$$X_{H} = 0,03 \cdot 1,08 = 0,032 \text{ (Ом)}.$$

Зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль X_{Γ} приймаємо рівним 0,6 Ом/км.

Загальна довжина петлі фаза-нуль складає $30+100=130=0,13$ м, звідки

$$X_{H} = 0,6 \cdot 0,13 = 0,08 \text{ (Ом)}.$$

8. Користуючись отриманими даними, розрахуємо z_{Π} і струм короткого замикання

$$z_{\Pi} = \sqrt{(0,64 + 0,08)^2 + (0,38 + 0,032 + 0,08)^2} = 0,872 \text{ (Ом)}.$$

$$I_{K3} = 380 / (9,081 / 3 + 0,872) = 422,7 \text{ (А)}.$$

Перевіримо умову надійного спрацювання захисту:

$$422,7 > 344,4.$$

Струм I_{K3} більш перевищує номінальний струм плавкої вставки, тому при замиканні на корпус плавка вставка перегорить і відімкне пошкоджену фазу. По номінальному струму обираємо плавку вставку серії ПН2-100 із номінальним струмом 80 А при напрузі 380 В.

4.3 Закон внутрішньої динамічної рівноваги

Сутність закону полягає у тому, що речовина, енергія, інформація та динамічні якості природних систем взаємопов'язані настільки, що люба зміна одного із показників викликає відповідні функціонально-структурні якісні та кількісні зміни.

З цього закону слідують важливі наслідки у техногенезі:

- у процесах промислового виробництва значна кількість матеріальних ресурсів переходить у відходи;
- основна кількість виробленої енергії використовується у сфері виробництва та споживання;
- поведінка природних і техногенних об'єктів, що входять до єдиної природньо-техногенної системи, нестабільна;
- природні та техногенні деградаційні процеси, що відбуваються у системах, багатомірні та різноманітні.

Любий промисловий вплив на природу викликає у неї відповідні реакції, що проявляються у трьох формах:

- адаптаційна реакція – передбачає локальне, статистичне зміщення рівноваги, у межах якого довкілля продовжує функціонувати за нових умов;
- відновлювальна реакція – відповідає повному або частковому відновленню властивостей екосистеми;
- невідновлювальна реакція – відповідає критичному стану довкілля.

Отже, умови екологічної рівноваги вимагають, щоб до моменту завершення будівництва, наприклад машинобудівного підприємства, характеристики стану довкілля були б незростаючими функціями у часі. Якщо яка-небудь характеристика несе некерований характер, то її монотонне зростання може призвести під час експлуатації до досягнення граничного техногенного рівня, що представлятиме екологічну небезпеку.

ВИСНОВКИ

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

1. Визначено службове призначення приводу зчеплення трактору. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною вузла, а саме циліндричного 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 циліндричного. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні $\varnothing 20d9$ мм розрахунково-аналітичним методом, а на решту поверхонь – табличним способом.

3. Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час операції фрезерування пазу. Здійснено розрахунок зусилля затиску. Розраховано слабку ланку на міцність.

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки валу циліндричного. Річний економічний ефект для програми випуску 550 шт. склав 16940 грн. Крім того, здійснено розрахунок місцевого освітлення робочої зони та захисного занулення. Розкрито сутність закону внутрішньої динамічної рівноваги.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик приводу зчеплення, кресленик валу циліндричного, складальний кресленик пристосування для виконання операції механічної обробки фрезерування пазу.