

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 регулюючого редуктора із електромагнітними муфтами на підставі річної програми випуску»

КРБ.133ГМбд_31[2].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_31[2]
ГАРЬКАВЕНКО Віктор

Керівник: канд. техн. наук, доцент
ПОПОВ Станіслав

Полтава – 2024 року

ВСТУП

Як відомо, редуктор є важливим вузлом, що входить до складу машин і засобів механізації різних сфер людської діяльності. Являє собою здебільшого механічну передачу енергії обертанням, що перетворює частоту обертання та обертовий момент за величиною. Головною функцією редуктора є зменшення (редукція) зусилля, потрібного для приводу пристрою, що перетворює механічну енергію у корисну роботу.

Саме тому розробка та удосконалення деталей редукторів для високоефективної роботи, пов'язаної із перетворення одного виду енергії в іншу на об'єктах агропромислового комплексу нашої країни і не тільки, є важливою науково-технічною задачею.

Отже деталь, винесена на розгляд у кваліфікаційній роботі, є складовою частиною редуктора регулюючого, що обладнується електромагнітними муфтами.

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

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 та табличним методами;

- сконструювати затискне пристосування для реалізації процесу механічної обробки фрезеруванням, а також здійснити його розрахунок;

- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки валу, а також запропонувати технічні та організаційні заходи із охорони праці, приділити увагу колективним екологічним ризикам;
- розробити комплект технічної документації для забезпечення потреб підприємств галузевого машинобудування.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

Регулюючий редуктор (рисунок 1.1), винесений на розгляд у даній роботі, містить електромагнітні муфти. Переключення останніх забезпечує необхідну частоту обертання валу. Він змонтований у корпусі 2, що закріплюється у задній частині верстату. У корпусі встановлені вали 4, 6, 8 та 13 на опорах із радіальних кулькових підшипників. Зубчасті колеса 1, 3, 5 та 7 жорстко закріплені на валах. Блок 15, зубчасті колеса 14 і 11 можуть вільно обертатись на валах 6, 8 і 13. Шестерня 11 є одночасно напівмуфтою муфти 10, друга напівмуфта 9 муфти 10 вільно обертається на валу 8.

Редуктор регулюючий передає повільне робоче обертання розподільчим валам з необхідною частотою. Вона регулюється гітарою змінних зубчастих коліс типу Меандру $\frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{g}{h}$ і швидке обертання, в момент якого здійснюються холості ходи.

Частота обертання розподільчих валів однакова. Робоче обертання розподільчим валам передається від валу 4, який є продовженням допоміжного валу, через зубчаті колеса 3, 5, 7, гітару $\frac{c}{d} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{g}{h}$, напівмуфту 9, муфту 10 (увімкнена вправо), вали 8 і 12. Швидке обертання розподільчим валам передається від валу 4 через блок 15, зубчате колесо 11, муфту 10 (ввімкнена вліво), вали 8 і 12.

На повздовжньому розподільчому валу 1 закріплені кулачки 5-8 подачі поперечних супортів. Обертання вал 1 отримує від черв'ячного колеса 9, встановленого в опорах з радіальних підшипників. Розподільчий вал є змінним. Для його зняття необхідно викрутити гвинт 2, викрутити гвинт 3, одночасно висунувши втулку 4 вправо. Втулка 4 є правою опорою валу. Поперечний розподільчий вал 4 встановлений у двох опорах з радіальних кулькових підшипників. Він отримує обертання від черв'яка 1 і черв'ячного колеса 2.

Рисунок 1.1 – Редуктор регулирующий

На ньому закріплені: кулачок 6 подачі револьверного супорта, барабан 9 з кулачками для управління перемиканнями револьверної головки, барабан 8 з кулачками для управління перемиканнями частоти обертання розподільних валів і управління лотком. Кулачок 6 закріплений гайкою 3 і утримується від прокручування штифтом 5. Кришку 7 з прозорою стінкою знімають при зміні кулачка.

Основні технічні дані редуктора регулюючого занесені до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні дані редуктора регулюючого

Назва параметра	Величина
Частота обертання вихідного валу, об/хв.	63... 1000
Обертний момент, Н·м	125
Величина проміжку у зубчастих з'єднаннях, мм	0,04 мм
Габаритні розміри, мм	225×260×425
Маса, кг	65

Деталлю, що виносяться на розгляд у роботі, є вал (рисунок 1.2).

Вал має таку функцію, як закріплення на ньому регулюючої гітари змінних зубчастих коліс, за допомогою яких редуктор регулюючий передає повільне обертання розподільчому валу із необхідною частотою. На валу оброблюються поверхня D=12k6, D=20k6, на якій насаджуються підшипники, поверхня D=26 k6, на якій закріплюється шпонковий паз 8P9 та поверхня D=15g6, на якій закріплюється шпонковий паз 6P9. Вал виготовлений зі сталі 40X ДСТУ 7806:2015. Він має сумарну довжину 216 мм, та підлягає обов'язковій термообробці, так як працює у складних умовах.

Рисунок 1.2 – Вал

При аналізі валу, бачимо, що необхідна кількість розрізів є достатня.

1.2 Аналіз параметрів точності

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

Таблиця 1.2 – Аналіз точності деталі «Вал»

Номер пов. деталі	Назва поверхні (елемента)	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність положення	Шорсткість, R_a
1	Циліндрична	Ø12	k6	-		0,8
2	Циліндрична	Ø16	g6	-	-	0,63
3	Циліндрична	Ø26	k6	-		0,8
4	Циліндрична	Ø20	k6	-		0,8
5	Циліндрична	Ø15	g6	-	-	0,63
6	Циліндрична	Ø10	h12	-	-	3,2
7, 8	Торець	216	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	6,3
9	Торець	23	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5
10	Торець	56	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5
11	Торець	10	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5
12	Торець	58	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5
13	Торець	94	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5

Виконавши аналіз параметрів точності деталі робимо висновок про те, що шорсткість поверхонь відповідає вимогам точності. Найточніший розмір має поверхня 2 з розмірами Ø16g6. Найнижча шорсткість у цієї ж поверхні $R_a=0,63$ мкм. Деталь легко виготовляється в умовах машинобудівного виробництва.

1.3 Характеристика матеріалу деталей, замінник

Для виготовлення валу застосовується сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015 [24, 37].

Сталі – це залізо-вуглецеві сплави з концентрацією вуглецю від 0,02 до 2,14%. Легованими називають сталі, у яких поряд із вуглецем додаються інші хімічні елементи, з метою одержання особливих властивостей: кислотостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості.

Конструкційна легована сталь марки 40Х важкозварна, способи зварювання: ручне дугове зварювання, електрошлакове зварювання. Необхідний підігрів і наступна термообробка. Сталь 40Х є флокеночутливою і схильна до відпускнуї крихкості.

Зі сталі 40Х виконують: осі, плунжери, штоки, кільця, різні вали – шестірні та колінчаті вали. Сталь марки 40Х йде на виготовлення болтів та втулок. Різної товщини квадрат 40Х придатний для виготовлення деталей, що повинні мати підвищену міцність. Щільність – 7850 кг/м^3 , модуль пружності $E = 214000 \text{ МПа}$, модуль зрушення $G=85000 \text{ МПа}$. Температура кування – початку 1250°C , кінця 800°C .

Хімічний склад сталі 40Х, %, наступний: кремній – 0,17-0,37; марганець – 0,50-0,80; мідь – 0,30; нікель – 0,30, сірка – 0,035; вуглець – 0,36-0,44, фосфор – 0,035; хром – 0,80-1,10.

Сталь 40Х підходить для виготовлення різних деталей, що поліпшуються. Із неї випускаються вироби підвищеної міцності. Замінниками сталі марки 40Х є сталі 45Х и 40ХН, також сталь 40Х можуть замінити сталі 38ХА і 40ХС.

Механічні властивості матеріалу деталі та його замінника наведені нижче у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Властивості матеріалу деталі та його замітника

Матеріал	Термообробка				Механічні властивості					
	Загартування		Відпуск		σ_T	σ_B	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	Твердість НВ, не більше
	Темпе- ратура, °С	Середо- вище охолод- ження	темпе- ратура, °С	середо- вище охолод- ження	МПа		%			
40Х	860	олива	500	вода або олива	785	980	10	45	59	217
45Х	840	олива	520	вода або олива	835	1030	9	45	49	229

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 редуктора (вал) у кількості 620 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

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

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

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

$k_{\bar{op}}$ – коефіцієнт, що враховує технологічні витрати, які неможливо уникнути. Приймаємо рівним 2-3% від сумарної кількості виробів, що формують програму випуску та йдуть на запчастини.

$$N_{зан} = (620 + 0,04 \cdot 620) \cdot (1 + 0,025) = 661 \text{ (шт.)}.$$

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

При аналізі вузла на технологічність необхідно перевірити його за рядом факторів, що відповідають технологічності виробу. Якщо вузол за якими-небудь параметрами не відповідає вимогам технологічності, то необхідно (за можливістю) прийняти міри стосовно поліпшення конструкції [23]. Нижче перераховані основні вимоги до технологічності.

1. При складанні вузла і встановленні його на машину, роботи пригонки відсутні. Це пояснюється правильним вибором конфігурації деталей, доцільним їх розташуванням, застосуванням прокладок, які компенсують похибку при встановленні.

2. 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:

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

де n – загальна кількість деталей,

N_{cm} – кількість стандартних деталей.

$$C_m = \frac{22}{67} = 0,33;$$

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

де n – загальна кількість деталей;

N_{yn} – кількість уніфікованих деталей.

$$y = \frac{45}{67} = 0,67.$$

3. 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.

4. 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.

5. 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 при складанні та спрощують його. Роль компенсаторів і регуляторів відіграють прокладки.

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	Назва деталі	Показники вимог до технологічності	Висновки по показниках технологічності	Заходи з поліпшення
1	2	3	4	5
1	Вал	Необхідна наявність зручних технологічних баз.	Деталь має зручні технологічні бази.	Не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
2	Вал	В деталях необхідно уникати отворів $L > 8 \dots 10D$.	У даному випадку такі отвори відсутні.	Не потрібні.
3		Конструкція деталі повинна дозволяти установку і закріплення її простими пристроями.	Конструкція деталі дозволяє установку і закріплення її простими пристроями: пневматичними або ручними лещатами .	Не потрібні.
4		Отвори в деталі повинні бути такими, щоб їх можна було обробити на прохід.	Деталь має глухі отвори, але вони потрібні для забезпечення працездатності деталі.	Не потрібні.
5		При аналізі креслення необхідна перевірка співвідношення між полями допусків і шорсткістю.	При проведенні аналізу креслення виявлено, що співвідношення між полями допусків і шорсткістю є задовільними.	Не потрібні.
6		Не бажана наявність глухих шліфованих поверхонь.	Деталь не має глухих шліфованих поверхонь.	Не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
7	Вал	Розміри розташування отворів повинні допускати багатошпindelну обробку, для цього відстань між осями повинна бути не менше 30...40 мм.	Розміри розташування отворів допускають багатошпindelну обробку.	Не потрібні.
8		Не потрібно застосовувати дрібні різьбові отвори	У конструкції деталі відсутні дрібні різьбові отвори.	Не потрібні.

Розглянувши таблицю, можна зробити висновки, що конструкція валу є технологічною. Забезпечуються основні експлуатаційні вимоги. При проведенні аналізу виявлено, що деталь відповідає основним показникам технологічності обробки в автоматизованому виробництві.

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

При аналізі діючого технологічного процесу видно, що він розроблений вірно і до нього важко зробити які-небудь значні доповнення. Єдине, що не задовольняє, то це те, що даний технологічний процес написаний для масового типу виробництва, а при сьогоденній економічній ситуації недоцільно його налагоджувати, так як асортимент продукції постійно змінюється. 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 агрегатні верстати, що

мають велику вартість, більшу собівартість налагодження та значну складність переналагодження на іншу продукцію. Ще до чого можна висунути зауваження, то це те, що всі різьбові отвори у базовому технологічному процесі роблять глухі, а це зовсім не доречно, бо при нарізанні різьби мітчик може зламатися і дістати його буде проблематично.

При проектуванні даного технологічного процесу необхідно замінити усі агрегатні верстати на верстати із ЧПК. З одного боку це дещо збільшить час на обробку деталей, але у порівнянні з витратами на підготовку виробництва – дасть значний економічний ефект. Крім того, при сьогоднішній нестабільності в економіці та виробництві, при зміні асортименту продукції, що випускається, переналагодження верстатів не буде викликати особливих витрат.

2.3 Методи обробки поверхонь

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

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

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 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 поверхонь деталі подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Методи обробки валу

Позначення поверхні	Квалітет за кресленням	Допуск за кресленням, мкм	Шорсткість R_a за кресленням	Допуск заготовки, мкм	Квалітет заготовки	Загальне уточнення	Можливі маршрути обробки поверхонь		Квалітет після обробки	Досягнутий допуск, мкм	Коефіцієнт уточнень	Загальне уточнення
							Номер маршруту	Перехід МОП				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	12	460	6,3	460	12	1	1	Фрезерування	12	400	1	1
2	12	460	6,3	460	12	1	1	Фрезерування	12	400	1	1
3	6	11	0,8	180	12	16,36	1	Точіння чорнове	10	70	2,57	16,36
								Точіння напівчистове	8	27	2,59	
								Точіння чистове	7	18	1,5	
								Шліфування	6	11	1,64	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	6	11	0,63	180	12	16,36	1	Точіння чорнове	10	70	2,57	16,36
								Точіння напівчистове	8	27	2,59	
								Точіння чистове	7	18	1,5	
								Шліфування	6	11	1,64	
5	6	13	0,8	210	12	16,15	1	Точіння чорнове	10	84	2,5	16,15
								Точіння напівчистове	8	33	2,55	
								Точіння чистове	7	21	1,57	
								Шліфування	6	13	1,6	
6	6	13	0,8	210	12	16,15	1	Точіння чорнове	10	84	2,5	16,15
								Точіння напівчистове	8	33	2,55	
								Точіння чистове	7	21	1,57	
								Шліфування	6	13	1,6	
7	6	11	0,63	180	12	16,36	1	Точіння чорнове	10	70	2,57	16,36
								Точіння напівчистове	8	27	2,59	
								Точіння чистове	7	18	1,5	
								Шліфування	6	11	1,64	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	12	150	3,2	150	12	1	1.	Точіння чорнове	12	150	1	1
9	9	36	6,3	-	-	-	1.	Фрезерування	9	36	-	-
10	9	30	6,3	-	-	-	1.	Фрезерування	9	30	-	-
11	6H	-	-	-	-	-	1.	Нарізання різьби	6H	-	-	-

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будемо на підставі обраних методів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва, схеми базування та призначених металорізальних верстатів.

Технологічний маршрут обробки деталей наводимо у вигляді послідовності обробки зі стислим змістом операцій. Наприклад, після проведеного аналізу маємо такий маршрут обробки валу (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Маршрут обробки валу

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 $\text{Ø}12\text{k}6^{+0,012}_{+0,001}$ мм.

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

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

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.

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot z_{\max} - 2 \cdot z_{\min} = \delta_z - \delta_{Д}; \quad (2.7)$$

$$5118 - 4949 = 180 - 11;$$

$$169 = 169.$$

Таблиця 2.4 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці $\text{Ø}12\text{к}6_{+0,001}^{+0,012}$ мм

Технологічний перехід	Елемент припуску, мкм				Розр. припуск $2Z_{\min}$ мкм	Розр. розмір, d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	R_z	T	ρ	ε				D_{\min}	D_{\max}	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Штамп.	600	650	750	-	-	16,951	180	16,95	17,13	-	-
Чорн. точ.	125	120	80	-	2·2000	12,951	70	12,95	13,02	4110	4000
Н/ч точ.	40	40	30	-	2·325	12,301	27	12,301	12,328	692	649
Чист. точ.	15	15	10	-	2·110	12,081	18	12,081	12,099	229	220
Шліфув.	5	15	-	-	2·40	12,001	11	12,001	12,012	87	80
Усього										5118	4949

На решту поверхонь деталі припуски визначаються за довідниковими таблицями (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Припуски на поверхні валу

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск Z_{\min} , мм
1	2	3	4
1, 2	Торець	Фрезерування одноразове	3,0
3, 4	Циліндрична	Точіння чорнове	1,7
		Точіння напівчистове	0,5
		Точіння чистове	0,2
		Шліфування чистове	0,1

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4
5	Циліндрична	Точіння чорнове	2,2
		Точіння напівчистове	0,5
		Точіння чистове	0,2
		Шліфування чистове	0,1
6, 7	Циліндрична	Точіння чорнове	1,7
		Точіння напівчистове	0,5
		Точіння чистове	0,2
		Шліфування чистове	0,1
8	Циліндрична	Точіння чорнове	2,3

Розраховані таким чином припуски на обробку зручно зобразити графічно на рисунку 2.1.

Рисунок 2.1 – Графічне розташування припусків та допусків
на обробку поверхні $\varnothing 12k6^{+0,012}_{+0,001}$ мм

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

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

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне для механічної обробки валу

При проєктуванні були витримані наступні вимоги до пристосування:

- забезпечення необхідної точності деталі, що оброблюється;
- забезпечення необхідної продуктивності;

- економічна доцільність (затрати на виготовлення пристосування повинні окупитися зниженням собівартості обробки;
- забезпечення зручної експлуатації та ремонтпридатності;
- забезпечення безпеки праці;
- деталі пристосування повинні бути по можливості нормалізовані та стандартизовані для зменшення загальної вартості.

Пристосовування складається із наступних елементів: 1 – пневматичний циліндр; 2 – вал; 3 – кран; 4 – плита; 5 – шпонка; 6 – призма; 7 – шток; 8 – стояк; 9 – опора; 10 – прокладка; 11 – планка затискна; 12 – трубка; 13, 14 – болт; 15-17 – гайка; 18, 19 – гвинт; 20 – кільце; 21 – манжета; 22 – палець; 23, 24 – шайба; 25 – штифт.

Оскільки проєктований пристрій має бути розміщений на столі горизонтально-фрезерного верстата, на якому є повздовжні пази для закріплення, то за основу для нього приймемо стандартну плиту 4 товщиною 20 мм. Для забезпечення співвісності установчої призми 6 і паралельності осі заготовки до базової поверхні пристрою закріпимо її до плити за допомогою регульовальної прокладки 10. Заданої точності встановлення заготовок досягають встановленням призми та добирання розмірів прокладок за допомогою еталонного валу.

Для притискання заготовки до установчої поверхні призми застосуємо планку 11 з гайками 17 і шайбами 24, пневмоциліндр двосторонньої дії 1, регульовану опору 9. Закріплюють плиту до стола верстата за допомогою чотирьох болтів 14, що входять у прорізи на плитах і пази на столі верстата та двох напрямних шпонок 5, закріплених гвинтами 19 до плити пристрою. Такий пристрій може бути застосований в умовах виробництва для обробки поверхонь заготовок, затискання яких не потребує значних зусиль.

Під час конструювання пристроїв завжди надають перевагу стандартним вузлам і деталям перед оригінальними. Це дає змогу значно економити час і вартість як проєктування, так і виготовлення.

3.2 Розрахунок зусиль затиску

Складемо схему діючих сил і визначимо з неї силу, яка необхідна для затиску W , використовуючи положення [12, 36, 38, 39].

На даній операції виникає максимальна сила різання P_z . Вона намагається виштовхнути заготовку паралельно площині закріплення. Складемо рівняння рівноваги у вигляді $\sum F_{iy}$:

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

де F_{TP} – сила тертя

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

f – коефіцієнт тертя, що дорівнює 0,1.

Остаточно рівняння (3.1) виглядатиме:

$$W \cdot f - K \cdot P_z = 0. \quad (3.3)$$

З виразу (3.3) маємо, що

$$W = \frac{K \cdot P_z}{f}, \quad (3.4)$$

де K – коефіцієнт запасу

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (3.5)$$

$K_0 = 1,2$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

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

$K_2 = 1,3$ – коефіцієнт, який враховує затуплення РІ;

$K_3 = 1,2$ – 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;

$K_6 = 1,0$.

$$K = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 2,7.$$

Розрахунок сили різання P_z проводимо за формулою [7, 28]:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_p, \quad (3.6)$$

де $t = 3,5$ мм – глибина різання;

$S = 0,025$ мм/зуб – подача;

$B = 8$ мм – ширина фрезерування;

$z = 6$ – кількість зубів фрези;

$D = 25$ мм – діаметр фрези;

$n = 500$ хв⁻¹ – частота обертання фрези;

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

$C_p = 82,5$; $x = 0,95$; $y = 0,8$; $u = 1,1$; $q = 1,1$; $w = 0$ – коефіцієнти та показники степені.

$$P_z = \frac{82,5 \cdot 3,5^{0,95} \cdot 0,025^{0,8} \cdot 8^{1,1} \cdot 6}{25^{1,1} \cdot 500^0} \cdot 1,1 = 26,7 \text{ (Н)}.$$

Зусилля затискання заготовки:

$$Q = \frac{26,7 \cdot 2,7}{0,1} = 720,9 \text{ (Н)}.$$

3.3 Розрахунок параметрів силового приводу

Розрахунок силового приводу зводиться до визначення зусилля на ведучій ланці механізму по відомій силі затиску, а потім, по визначеному зусиллю на ведучій ланці знаходиться діаметр пневмоциліндра.

Для даного механізму можна записати:

$$Q = \frac{W}{i}; \quad (3.7)$$

де i – передаточне відношення сил, що характеризує конструктивні параметри механізму. Для даного пристосування $i=1$.

З урахуванням цього зусилля $Q = W = 721$ (Н)

Знайдемо діаметр поршня пневмоциліндра:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} p \eta. \quad (3.8)$$

З цієї формули виразимо значення діаметра:

$$D = \sqrt{\frac{2Q}{\pi p \eta} + d^2}, \quad (3.9)$$

де D – діаметр поршня;

d – діаметр штока;

η – ККД пневмоциліндра;

p – тиск повітря, що подається у пневмоциліндр.

Маємо: $\eta = 0,8$; $p = 0,5$ МПа; $d = 14$ мм.

Обчислимо:

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot 721}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 0,5} + 14^2} = 36,66 \text{ (мм)}.$$

Приймаємо стандартний діаметр $D = 40$ мм.

3.4 Розрахунок слабкої ланки на міцність

Розрахунок проведемо для вісі, що з'єднує шток пневмоциліндра та важелі.
Розрахунок виконуємо на зріз за формулами опору матеріалів:

$$\tau = \frac{P_{\max}}{F_{\min}} \leq [\tau], \quad (3.10)$$

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

$$P_{\max} = Q_{\max} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} p \eta, \quad (3.11)$$

$$P_{\max} = \frac{3,14 \cdot (40^2 - 14^2)}{4} \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 441 \text{ (Н)};$$

$[\tau] = 70$ МПа – допустиме напруження на зріз;

F_{\min} – площа поперечного перерізу вісі, мм²;

$$F_{\min} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3.12)$$

$$F_{\min} = \frac{3,14 \cdot 14^2}{4} = 153,86 \text{ (мм)}.$$

Тоді, за формулою (3.10) маємо

$$\tau = \frac{441}{153,86} = 2,87 \text{ (МПа)},$$

$$2,87 < 70.$$

Отже робимо висновок, що міцність вісі достатня.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Проаналізуємо два найбільш прийнятних методи виготовлення заготовки корпусу: виготовлення вільним куванням та штампуванням на молотах [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Розрахуємо собівартість виготовлення заготовки деталі.

Собівартість заготовки, грн., виготовленої куванням, розраховуємо за формулою:

$$C_K = 0,001 (C_{\text{бк}} G_K K_{\text{ТК}} K_{\text{СК}} K_{\text{МК}} K_{\text{ПК}} K_{\text{ВК}} - (G_K - G_g) C_{\text{ВХ}}), \quad (4.1)$$

де $C_{\text{бк}}$ – базова ціна однієї тони матеріалу, грн.;

G_g – маса деталі, кг, $G_g = 0,5$ кг;

G_K – маса кованки, кг:

$$G_{K(\text{кув-я})} = \frac{0,5}{0,4} = 1,25 \text{ кг};$$

$$G_{K(\text{штам-я})} = \frac{0,5}{0,9} = 0,56 \text{ кг}.$$

$K_{\text{ТК}}$, $K_{\text{СК}}$, $K_{\text{МК}}$, $K_{\text{ПК}}$, $K_{\text{ВК}}$ – коефіцієнти відповідно точності розмірів, конструктивної та технологічної складності, марки матеріалу, програми річного замовлення та виду обладнання;

$C_{\text{ВХ}}$ – ціна відходу матеріалу, грн.

У відповідності до стандарту основними ознаками класифікації штампованих кованок є: точність виготовлення, група сталі, конфігурація поверхні рознімання штампу, що використовується, ступінь складності.

Визначаємо для заготовки деталі: ступінь складності С2; група сталі М2; клас точності Т5; група серійності 2.

Значення коефіцієнтів: $K_{TK}=1,23$; $K_{CK}=1,14$; $K_{BK(кув-я)}=0,9$; $K_{BK(штам-я)}=1,45$; $K_{ПК}=1,15$; $K_{МК}=1,23$.

Визначаємо оптову ціну однієї тони сталі 40Х – 47470 грн., оптову ціну відходів сталі 40Х – 1500 грн.

Порівнюємо ціни кованок для двох методів отримання заготовок: для вільного кування та штампування на молотах:

$$C_{B.KVB} = 0,001(47470 \cdot 1,25 \cdot 1,23 \cdot 1,14 \cdot 1,23 \cdot 1,15 \cdot 0,9 - (1,25 - 0,5) \cdot 1500) = 104,8 \text{ грн.};$$

$$C_{шт} = 0,001(47470 \cdot 0,56 \cdot 1,23 \cdot 1,14 \cdot 1,23 \cdot 1,15 \cdot 1,45 - (0,56 - 0,5) \cdot 1500) = 76,4 \text{ грн.}$$

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

$$E = (104,8 - 76,4) \cdot 620 = 17608 \text{ (грн.)}.$$

Висновок: проаналізувавши два методи виготовлення заготовки обираємо метод виготовлення заготовок штампуванням на молотах, оскільки собівартість виготовлення заготовки даним методом менша на 28,4 грн. за одиницю у порівнянні з виготовленням заготовки куванням.

4.2 Розрахунок захисного занулення

Занулення входить у з'єднання корпусів струмоприймача або іншого устаткування (яке може виявитися під напругою у результаті порушення ізоляції) з

нульовим проводом за допомогою металевих провідників (рисунок 4.1) [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

Рисунок 4.1 – Принципова схема занулення (R_0 – заземлення нульової точки трансформатора; Z_T – опір обмотки трансформатора; R_H – опір нульового проводу; 1 – легкоплавкі вставки; 2 – електродвигун; I_{K3} – струм короткого замикання; R_Φ – опір фазного проводу; R_{II} – повторне заземлення нульового проводу)

Завдання занулення те ж, що й захисного заземлення – ліквідування небезпеки ураження електричним струмом при порушенні ізоляції й появі на корпусах обладнання небезпечної напруги.

Принцип дії занулення – перетворення пробою на корпусі в однофазне коротке замикання, тобто утворення так названої ланки короткого замикання (корпус – нульовий провід – фазна обмотка трансформатора), що має малий опір – десяті частини Ом.

При пробі на корпус у ланцюзі короткого замикання виникає великий струм короткого замикання I_{K3} , що забезпечує швидке перегорання плавких вставок за 5...7 с або відключення ушкоджених фаз автоматичними пристроями, що реагують

на струм короткого замикання за 1...2 с. Протягом короткого часу, який визначається швидкістю спрацьовування захисту, людина, що дотикається до ушкодженого обладнання, попадає під фазну напругу. Якщо захисне занулення не спрацьовує у встановлений час, то людина може бути вражена електричним струмом.

Розрахуємо систему захисного занулення при потужності живильного трансформатора 700 кВА. Схема з'єднання обмоток трансформатора – зірка, електродвигун асинхронний, серії 4А, $U = 380 \text{ В}$, $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$.

1 Розраховуємо номінальний струм електродвигуна, А:

$$I_{\text{ел.дв}}^{\text{н}} = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi}, \quad (4.2)$$

де P – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$U_{\text{н}}$ – номінальна напруга, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

$$I_{\text{ед}}^{\text{н}} = \frac{10 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 17,1 \text{ (А)}.$$

2 Розраховуємо пусковий струм електродвигуна, А:

$$I_{\text{ел.дв}}^{\text{пус}} = I_{\text{ел.дв}}^{\text{н}} \cdot \beta, \quad (4.3)$$

де $I_{\text{ел.дв}}^{\text{н}}$ – номінальний робочий струм електродвигуна, А;

β – коефіцієнт перевантаження, 5...8.

$$I_{\text{ел.дв}}^{\text{пус}} = 17,1 \cdot 7 = 119,7 \text{ (А)}.$$

3 Плавкі вставки запобіжників підбираємо за розрахунковим значенням номінального струму $I_{нл.вс}^н$. При цьому повинна виконуватися умова (4.4). Значення номінального струму визначають за виразом:

$$I_{нл.вс}^н = I_{ел.дв}^{нyc} / \alpha, \quad (4.4)$$

де $I_{ел.дв}^{нyc}$ – пусковий струм електродвигуна, А;

α – коефіцієнт режиму роботи, 2.

$$I_{нл.вс}^н = 119,7 / 2 = 59,9 \text{ (А)}.$$

Обираємо тип запобіжника ПН2-100 із номінальним струмом плавкої вставки 60 А.

4 Розраховуємо орієнтовний переріз фазних проводів:

$$s_{\phi} = I_{ед} / j, \quad (4.5)$$

де $j = 3$ А/мм² для алюмінієвих дротів.

$$s_{\phi} = 119,7 / 3 = 39,9 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Обираємо з ряду стандартних перерізів фазних дротів значення 40 мм².

5 Переріз нульового провідника та його матеріал обираються з умови, щоб повна провідність нульового дроту була не менше 50% повної провідності фазного дроту, тобто виконувалася умова

$$\frac{1}{(R_n + X_n)} \geq 2 \frac{1}{(R_{\phi} + X_{\phi})}. \quad (4.6)$$

6 Розраховуємо активний опір фазних та нульового дротів, Ом:

$$R_{\phi} = \frac{\rho \cdot L_{\phi}}{s_{\phi}}; \quad (4.7)$$

$$R_n = \frac{\rho \cdot L_n}{s_n}; \quad (4.8)$$

де ρ – питомий опір провідника, для міді 0,018 Ом·мм²/м;

L – довжина провідника, м;

s – переріз мм².

$$R_{\phi} = \frac{0,018 \cdot 100}{40} = 0,045 \text{ (Ом)}.$$

Переріз нульового провідника та його матеріал обираємо з умови, щоб повна провідність нульового дроту була не менше 50% повної провідності фазного дроту, тобто виконувалася умова

$$\frac{1}{(R_n + X_n)} \geq \frac{1}{2(R_{\phi} + X_{\phi})}. \quad (4.9)$$

Значення індуктивних опорів X_{ϕ} та X_n для мідних та алюмінієвих дротів малі, як правило, під час розрахунків ними нехтують. Тобто (4.9) набуде виду

$$\frac{1}{R_n} \geq \frac{1}{2R_{\phi}}. \quad (4.10)$$

Звідки

$$R_n = 2R_{\phi}, \quad (4.11)$$

$$R_n = 2 \cdot 0,045 = 0,09 \text{ (Ом)}.$$

Переріз нульового провідника:

$$s_n = \frac{\rho \cdot L_n}{R_n}, \quad (4.12)$$

$$s_n = \frac{0,018 \cdot 100}{0,09} = 20 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Обираємо з ряду стандартних перерізів нульових дротів значення 20 мм².

7 Зовнішній індуктивний опір 1 км петлі «фаза-нуль» приймаємо $X_n = 0,6$ Ом/км. З урахуванням нашого значення довжини лінії маємо

$$X_n = 0,6 \cdot L, \quad (4.13)$$

$$X_n = 0,6 \cdot 0,1 = 0,06 \text{ (Ом)}.$$

8 Повний опір петлі «фаза-нуль»:

$$Z_n = \left[(R_\phi + R_n)^2 + X_n^2 \right]^{0,5}, \quad (4.14)$$

$$Z_n = \left[(0,045 + 0,09)^2 + 0,06^2 \right]^{0,5} = 0,147 \text{ (Ом)}.$$

9 Струм короткого замикання на корпус:

$$I_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{Z_{mp} / 3 + Z_n}, \quad (4.15)$$

де $Z_{mp} / 3$ – значення розрахункових повних опорів обмоток масляних трифазних трансформаторів, поєднаних за схемою Δ / Y . У нашому випадку для трансформатора 700 кВА – 0,07.

$$I_{к.з} = \frac{380}{0,07 + 0,147} = 1751,2 \text{ (А)}.$$

10 Перевірка надійності вимикаючої здатності:

$$I_{к.з} \geq k \cdot I_{н.ел.дв.}, \quad (4.16)$$

де k – коефіцієнт кратності номінального струму, що дорівнює 3 при захисті запобіжниками або автоматами, що мають тепловий розщеплювач із оберненою від струму характеристикою.

$$1751,2 > 3 \cdot 17,1;$$

$$1751,2 > 51,3.$$

Умова надійності вимикаючої здатності забезпечена.

4.3 Колективні екологічні ризики

Колективні екологічні ризики зумовлені знаходженням деякої соціальної групи у районі розташування потенційно небезпечного об'єкту (зайнятість на об'єкті або проживання поруч). Це вид ризику, на відміну від індивідуального, слугує інтегральним показником конкретної небезпеки у конкретному географічному районі та характеризує масштаб можливої аварії. Колективний ризик оцінюється числом смертей n у результаті дії певного небезпечного фактору на сукупність людей N , що розглядається.

Методичні основи оцінки комплексного ризику розроблені для широкого спектру техногенних та природних надзвичайних ситуацій, у тому числі аварій на пожежонебезпечних, вибухонебезпечних та хімічно небезпечних об'єктах, проривів гребель, землетрусів, повеней, лісних пожеж, ураганів та ін.

У якості екологічних наслідків під час аварій слід також розглядати негативні зміни ландшафтів та порушення природних процесів, що відбуваються у екологічних системах.

Екологічні наслідки аварій і катастроф у більшості випадків не обмежуються забрудненням довкілля та наступними змінами, що відбуваються потім, у ньому. Вони також суттєво, а інколи в основному, обумовлюються впливом термобаричних полів, гідродинамічних хвиль та потоків, інших вражаючих факторів, що виникають під час вибухів, пожеж та інших проявах техногенних аварій та катастроф. При такому впливі на довкілля екологічні наслідки можуть виражатися у доволі різких та значних за масштабами змінах середовища проживання людини. Вони пов'язані із руйнуванням життєво важливих структурних елементів територіально-виробничих комплексів та інших природно-господарських утворень, деструктивною зміною ландшафтів та екосистем.

Важливим у практичному відношенні є визначення характеру, масштабів екологічних наслідків аварій та екологічного стану територій. Це завдання повинно вирішуватися з метою прийняття необхідних заходів щодо забезпечення

екологічної безпеки населення, а також проведення робіт із ліквідації наслідків аварій та катастроф.

Оцінка ризику – порядок дій, що має на меті визначення його кількісних характеристик: ймовірність настання несприятливих подій та можливий розмір завданої шкоди. Відомими є три методи оцінки ризику для конкретних процесів:

- аналіз статистичних даних за несприятливим подіям, що відбулися у минулому;
- теоретичний аналіз структури причинно-наслідкових процесів;
- експертний підхід.

Володіючи статистичними даними про несприятливі події, можливо оцінити також ймовірність виникнення несприятливих подій, розмір шкоди. Цей метод підходить для частих та однорідних подій.

ВИСНОВКИ

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

1 Визначено службове призначення редуктора регулюючого. Проведено аналіз деталі, що є його 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 деталей. Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь валу. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні $\varnothing 12k6$ мм розрахунково-аналітичним методом та для решти поверхонь – табличним.

3 Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час операції механічної обробки валу фрезеруванням. Визначені зусилля затиску та параметри силового приводу. Розраховано слабку ланку на міцність.

4 Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки валу редуктора регулюючого. Річний економічний ефект для програми випуску 620 шт. склав 17608 грн. Окрім того, було здійснено розрахунок захисного занулення. Приділено увагу колективним екологічним ризикам.

5 У графічній частині роботи наведено складальний кресленик редуктора регулюючого, кресленик валу, кресленик заготовки валу, складальний кресленик затискного пристосування для виконання операції механічної обробки фрезеруванням.