

**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: «Конструкторсько-технологічні аспекти виготовлення черв'ячного валу одноступінчастого редуктора»

КРБ.133ГМбд\_41.11.00.00.000 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  
МАКЕСВ Єгор

Керівник: канд. техн. наук, доцентка  
БІЛОВОД Олександра

**Полтава – 2025 року**

## ВСТУП

Одноступінчасті черв'ячні редуктори широко застосовуються у приводах сільськогосподарських машин завдяки своїм унікальним характеристикам. Ось кілька причин їхньої популярності:

- компактність (черв'ячні редуктори мають компактні розміри, що дозволяє заощаджувати простір на обладнанні);
- високе передавальне число (забезпечують значне зниження швидкості обертання при передачі крутного моменту, що важливо для роботи сільгоспмашин);
- плавність роботи (черв'ячні редуктори забезпечують плавний та тихий хід, що важливо для підвищення комфорту оператора та зменшення зносу деталей);
- стійкість до перевантажень (здатні витримувати значні навантаження, що робить їх надійними у складних умовах експлуатації);
- низькі вимоги до обслуговування (потребують мінімального обслуговування, що знижує витрати на експлуатацію);
- зворотне блокування (забезпечують можливість самоблокування, що може бути корисним у деяких випадках, наприклад, при роботі з важкими знаряддями).

Через ці переваги одноступінчасті черв'ячні редуктори знаходять застосування у різних сільськогосподарських машинах, таких як трактори, плуги, сівалки та інше обладнання, де потрібна надійна та ефективна передача потужності [32].

Деталь, знята на розгляд у кваліфікаційній роботі (вал черв'ячний), є складовою частиною одноступінчастого редуктора.

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

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 здійснити його розрахунок;

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

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

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

### 1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

Редуктор черв'ячний одноступінчастий (рисунк 1.1) з нижнім розташуванням черв'яка призначений для ефектної передачі потужності зі зміною напрямку обертання та значним зниженням обертів. Основні його функції та сфери застосування:

1) зниження обертів та збільшення крутного моменту. Редуктор з черв'ячною передачею значно знижує швидкість обертання, що робить його ідеальним для роботи в системах, де потрібна велика сила при низькій швидкості, наприклад, приводах сільськогосподарських машин, ліфтових установках, транспортерних системах та інших механізмах з високими вимогами до моменту.

2) передача потужності із зміною кута напрямку. У разі одноступінчастого редуктора з нижнім розташуванням черв'яка, його конструкція дозволить передавати потужність на 90 градусів, що важливо для компонування механізмів, коли потрібно змінити напрямок обертання без використання додаткових куткових редукторів,

3) простота встановлення та монтажу. Розміщення черв'яка в нижній частині редуктора спрощує його встановлення у пристроях, де необхідно підключити приводну та ведену частини з певним розташуванням;

4) самоблокування. Черв'ячні редуктори часто мають властивість самоблокування, що означає, що при зупинці валу черв'ячного редуктора рух у зворотний бік буде заблоковано. Ця властивість може бути корисною у таких застосуваннях, як крани, підйомники або в деяких механізмах сільськогосподарства, де потрібне запобігання руху під дією зовнішнього навантаження;

5) області застосування. Черв'ячні редуктори із нижнім розташуванням черв'яка знаходять застосування в: сільськогосподарська техніка (трактори, плуги, сівалки, а також в інших пристроях, де потрібна передача потужності зі зменшенням оборотів і підвищенням крутного моменту); транспортні системи (наприклад, у конвеєрах, де важлива передача обертання на 90 градусів); підйомно-транспортні пристрої (в

ліфтах, кранах і т.п., де необхідно керувати навантаженнями); вентиляційне обладнання (у деяких вентиляторах та інших механізмах з необхідністю регулювання швидкості обертання);

б) переваги конструкції: мінімальні вібрації та шум (черв'ячні редуктори зазвичай працюють із меншими рівнями шуму, що важливо для забезпечення комфорту оператора); компактність (редуктори з нижнім розташуванням черв'яка компактні, що дозволяє заощадити простір у механізмах); надійність (конструкція з одним ступенем і з хорошими характеристиками передачі обертового моменту робить такі редуктори довговічними та стійкими до механічних навантажень.

Основна технічна характеристика редуктора наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика редуктора

| Назва параметра                         | Величина             |
|-----------------------------------------|----------------------|
| Передатне число                         | 20                   |
| Потужність на вихідному валі, кВт       | 5,5                  |
| Обертовий момент на вихідному валі, Н·м | 300                  |
| Частота обертання вхідного валу об/хв.  | 1450                 |
| Частота обертання вихідного валу об/хв. | 72,5                 |
| Коефіцієнт корисної дії, %              | 85                   |
| Число заходів черв'яка                  | 1                    |
| Тип змащення                            | Масило індустріальне |
| Робоча температура, °C                  | -10...+40            |
| Габаритні розміри, мм                   | 355×250×295          |
| Маса, кг                                | 30,0                 |

Отже черв'ячний одноступінчастий редуктор з нижнім розташуванням черв'яка ідеально підходить для застосування у тих областях, де потрібна компактна, надійна та ефективна передача потужності зі змінною напрямку обертання та значним зниженням швидкості.

Рисунок 1.1 – Редуктор черв'ячний одноступінчастий

Деталлю, що виноситься на детальний розгляд, є вал черв'ячний (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Вал черв'ячний

Черв'ячний вал у редукторі – це одна із ключових деталей, що виконує кілька важливих функцій у передачі обертання та обертового моменту. Основне завдання

черв'ячного валу – перетворення обертання та передача потужності на зубчасте колесо через червячну передачу. Він необхідний для того, щоб редуктор міг ефективно знижувати швидкість обертання і збільшувати крутний момент, а також забезпечувати роботу редуктора в певних умовах. Черв'ячний вал є спіральним валом з зубами, які мають форму спіралі, і виконаний зі сталі 45. Отже, черв'ячний вал – це не просто передавальна ланка, а ключова частина, що забезпечує ефективне зниження обертів, збільшення крутного моменту, а також створення компактної і довговічної системи передачі потужності. Крім того, завдяки своїм особливостям, таким як самоблокування та можливість зміни кута обертання, черв'ячний вал є важливою деталлю у безлічі сучасних механічних систем, включаючи сільськогосподарські машини, ліфти, транспортери та багато іншого.

## 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].

Таблиця 1.2 – Аналіз точності деталі «Вал черв'ячний»

| Номер поверхні деталі | Назва поверхні | Розміри з відхиленнями | Квалітет точності | Точність форми | Точність відносного положення | Інструментальність $R_a$ , мкм |
|-----------------------|----------------|------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1                     | 2              | 3                      | 4                 | 5              | 6                             | 7                              |
| 1                     | Торець         | 320                    | $\pm 1,5$         |                | -                             | $R_{z80}$                      |

Продовження таблиці 1.2

| 1  | 2                 | 3        | 4         | 5    | 6     | 7                 |
|----|-------------------|----------|-----------|------|-------|-------------------|
| 2  | Центровий отвір   | HM8      | H7        | -    | -     | 2,5               |
| 3  | Торець            | 320      | $\pm 1,5$ | -    | -     | R <sub>z</sub> 80 |
| 4  | Конус             | 42       | $\pm 0,5$ | -    | -     | 2,5               |
| 5  | Зовнішня поверхня | Ø25      | h10       | -    | -     | 2,5               |
| 6  | Фаска             | 45°      | -         | -    | -     | 12,5              |
| 7  | Зовнішня поверхня | Ø30      | k6        | -    | -     | 0,63              |
| 8  | Зовнішня поверхня | Ø38      | -         | -    | -     | R <sub>z</sub> 80 |
| 9  | Фаска             | 2×45°    | -         | -    | -     | R <sub>z</sub> 80 |
| 10 | Зовнішня поверхня | Ø23      | -         | -    | -     | R <sub>z</sub> 80 |
| 11 | Зовнішня поверхня | Ø38      | -         | -    | -     | 12,5              |
| 12 | Зовнішня поверхня | Ø30      | k6        | -    | -     | 0,63              |
| 13 | Зовнішня поверхня | Ø25      | h10       | -    | -     | 2,5               |
| 14 | Зовнішня поверхня | Ø22      | h9        | -    | -     | 2,5               |
| 15 | Шпонковий газ     | 37×5×3   | P9        | 0,12 | 0,015 | 2,5               |
| 16 | Отвір             | Ø6,5     | H14       | -    | -     | 12,5              |
| 17 | Витки             | 35×23×62 | $\pm 0,5$ | -    | -     | 2,5               |

Виконавши аналіз параметрів точності деталі робимо висновок проте, що шорсткість поверхні відповідає вимогам точності. Найточніший розмір мають поверхні 7 та 12 з розмірами Ø30k6. Найнижча шорсткість Ra=0,63 мкм. Деталь легко виготовляється в умовах машинобудівного виробництва.

### 1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

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

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

Таблиця 1.3 – Хімічний склад матеріалу деталі, %

| Сталь | C        | Mn      | Si        | $\sigma_b$ , МПа | Твердість<br>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 |

Таблиця 1.4 – Хімічний склад матеріалу-замінника деталі, %

| Сталь | C         | Mn      | Si        | $\sigma_b$ , МПа | Твердість<br>НВ | P         | Cr      | Ni  | Cu  | S     |
|-------|-----------|---------|-----------|------------------|-----------------|-----------|---------|-----|-----|-------|
|       |           |         |           |                  |                 | не більше |         |     |     |       |
| 40Х   | 0,36-0,44 | 0,5-0,8 | 0,17-0,37 | 470-655          | 143-248         | 0,035     | 0,5-1,1 | 0,3 | 0,3 | 0,035 |

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

### 1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку в деталях вузла у кількості 500 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

$$N_{zan} = (N_{vun} + N_{зч}) \cdot (1 + \kappa_{зр}), \quad (1.1)$$

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

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

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

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

$$N_{\text{зан}} = (500 + 0,04 \cdot 500) \cdot (1 + 0,025) = 533 (\text{шт.}).$$

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 по ряду факторів, які відповідають технологічності виробу. Якщо вузол по яким-небудь параметрам не відповідає вимогам технологічності, то необхідно (по можливості) прийняти міри по поліпшенню конструкції. Нижче перераховані основні вимоги до технологічності.

1. При складанні вузла і зстановленні його на машину, роботи підганяння 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.

Коефіцієнт стандартизації,  $C$ :

$$C = \frac{N_{cm}}{N}, \quad (2.1)$$

де  $N$  – загальна кількість деталей,

$N_{cm}$  – кількість стандартних деталей.

$$C = \frac{20}{36} = 0,56.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$Y = \frac{N_{yn}}{N} \quad (2.2)$$

де  $N$  – загальна кількість деталей;

$N_u$  – кількість уніфікованих деталей.

$$Y = \frac{10}{36} = 0,28.$$

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. 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.

4. 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 [73].

У процесі аналізу креслення деталі (вал черв'ячний) було виявлено, що деталь практично повністю відпрацьована на технологічність для визначеного типу виробництва, бо витрати на налагодження верстатів будуть порівняно незначні з економією матеріалу та часу.

Результати аналізу на технологічність деталі наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність валу черв'ячного

| № 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 багаторічкових автоматах.                                   | Оскільки вал обробляється на верстаті із ЧПК, то дана умова нас задовольняє повністю.            | -                                   |
| 2      | Вали повинні мати центрувальні отвори для базування при обробці та контролю.                                                                                                                          | Дана деталь повністю відповідає даній вимозі.                                                    | -                                   |
| 3      | При наявності шпонкової канавки розмір від дна канавки необхідно проставляти від нижнього краю циліндра. У випадку базування в призмі. У випадку базування в центрах розмір проставляється до центра. | Оскільки обробка шпонкової канавки проводиться в призмі, то дана умова нас повністю задовольняє. |                                     |

Розглянувши таблицю, можна зробити висновки, що в цілому деталь (вал черв'ячний) за більшістю показників є технологічною для умов автоматизованого виробництва.

## 2.2 Технологічні бази під час обробки

Одним із найскладніших і принципових розділів проектування технологічних процесів механічної обробки є призначення технологічних баз. Від правильного вибору технологічних баз значною мірою залежить: фактична точність виконання розмірів; правильність взаємного розташування поверхонь; ступінь складності пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів; загальна продуктивність обробки заготовок. Основні положення, що стосуються термінології, класифікації та теорії базування регламентовано відповідно до ДСТУ 2232-93 Базування та бази в машинобудуванні. Терміни та визначення.

Вихідними даними при виборі баз є: робочий креслик деталі, технічні умови на її виготовлення, вид заготовки та стан її поверхонь, бажаний ступінь автоматизації. Вибору баз на першій операції передують визначення поверхонь, що будуть використовуватись як бази на дальших операціях. Такими поверхнями є, як правило, основні бази, від яких задано більшість розмірів, що координують розташування інших відповідальних поверхонь деталі. При виборі технологічних баз ми будемо притримуватися таких рекомендацій:

- базові поверхні мають бути простими за формою та мати достатню протяжність. Заготовка повинна займати місце в пристрої відповідне місце під дією власної маси;

- базові поверхні повинні бути чистими для забезпечення однозначності базування. Неприпустимо використовувати поверхні зі слідами роз'єму штампів, ливарних форм, залишками ливникової системи та іншими дефектами;

- із точки зору експлуатації деталі чорнові базові поверхні повинні бути найбільш відповідальними. У цьому разі при їх обробці на наступних операціях забезпечується рівномірність припусків та однорідна за якість поверхня;

- після першої операції технологічні бази повинні бути замінені, оскільки дещо використовувати одні й ті ж самі бази вкрай небажано, а в більшості випадків недопустимо;

- бази повинні забезпечувати можливість обробки з однієї установки максимальної кількості поверхонь;

У даному пункті якомога точно та зважено були вибрані технологічні бази для обробки деталі (таблиця 2.2) з застосуванням [3, 9, 11, 13, 18, 21].

Таблиця 2.2 – Технологічні бази при обробці деталі (вал черв'ячний)

Отже, правильний вибір схем базування має дуже важливе значення на стадії розробки технологічного процесу виготовлення, так як правильний установ та базування деталі дає найвищу якість поверхонь, їх точність, правильну послідовність обробки.

### 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:

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

де  $\varepsilon$  – загальне значення;

$\varepsilon_i$  – окремі ступені уточнення;

$n$  – число ступенів обробки;

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

Розкладаючи загальне значення на співмножники, потрібно враховувати типові рекомендації: для першого ступеня чорнової обробки досяжними є величини уточнення  $\varepsilon < 6$ , для проміжних ступенів напівчистої обробки  $\varepsilon = 3 \dots 4$ ; для ступенів чистої обробки  $\varepsilon = 1.5 \dots 2$ .

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу:

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

Приклад для обробки поверхні  $\varnothing 30k6$ . Допуск за кресленням 0,013 мм, допуск заготовки 0,4 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{0,4}{0,013} = 30,8.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 30,8}{0,46} \approx 3,2.$$

Отже, необхідно передбачити не менше трьох етапів обробки для поверхні  $\varnothing 30k6$ .

Пропонуємо наступні методи обробки поверхонь деталі (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Методи обробки поверхонь деталі

| Позначення поверхні | Квалітет за кресленням | Допуск за кресленням, мкм | Шорсткість $R_a$ за кресленням | Допуск заготовки, мкм | Квалітет заготовки | Загальне уточнення | Маршрути обробки поверхонь | Квалітет після обробки | Досягнутий допуск, мкм | Коефіцієнт уточнення | Загальне уточнення |
|---------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 1                   | 2                      | 3                         | 4                              | 5                     | 6                  | 7                  | 8                          | 9                      | 10                     | 11                   | 12                 |
| 1                   | 11                     | -                         | 6,3                            | 40                    | 12                 | 6,3                | Фрезерування одноразове    | 11                     | 6,3                    | 6,3                  | 6,3                |

Продовження таблиці 2.3

| 1    | 2  | 3     | 4    | 5  | 6  | 7    | 8                          | 9  | 10   | 11   | 12   |
|------|----|-------|------|----|----|------|----------------------------|----|------|------|------|
| 2    | 11 | -     | 6,3  | 40 | 12 | 6,3  | Фрезерування<br>одноразове | 11 | 6,3  | 6,3  | 6,3  |
| 3    | 12 | -     | 20   | -  | -  | -    | Свердління                 | 10 | 20   | -    | -    |
| 4    | 12 | -     | 20   | -  | -  | -    | Свердління                 | 10 | 20   | -    | -    |
| 5-20 | 10 | 0,084 | 6,3  | 40 | 12 | 16,1 | Гочіння чорнове            | 10 | 6,3  | 6,38 | 16,1 |
|      |    |       |      |    |    |      | Гочіння чистове            | 8  | 6,3  | 2,52 |      |
| 8,16 | 6  | 0,017 | 1,25 | 40 | 12 | 6,4  | Шліфування                 | 6  | 1,25 | 6,36 | 6,4  |

Отже, при виборі методів обробки кожної поверхні деталі, будемо керуватися показниками собівартості обробки та якості оброблюваних поверхонь.

#### 2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будемо на підставі обраних маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Маршрут обробки деталі

| № оп. | Найменування операції | Устаткування       | Зміст операції                                                                                                                                                 |
|-------|-----------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2                     | 3                  | 4                                                                                                                                                              |
| 005   | Заготівельна          | Машина для кування | Виготовити заготовку куванням.                                                                                                                                 |
| 010   | Термічна              | Піч                | Провести термічну обробку покращенням (нагрівання 820...860°C, витримка 30...60 хв., охолодження; нагрівання 600...650°C, витримка 60...120 хв., охолодження). |

Продовження таблиці 2.4

| 1   | 2                     | 3       | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|-----------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015 | Фрезерно-центрувальна | MF71    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Підрізати торець у розмір <math>320 \pm 2</math> мм.</li> <li>2. Свердлити центровий отвір.</li> <li>3. Підрізати торець у розмір <math>320 \pm 2</math> мм.</li> <li>4. Свердлити центровий отвір.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 020 | Токарна із ЧПУ        | 16K20T1 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Точити конус у розмір <math>42 \pm 0,5</math> мм.</li> <li>2. Точити <math>\varnothing 25_{-0,084}</math> мм у розмір 25 мм.</li> <li>3. Точити фаску <math>45^\circ</math>.</li> <li>4. Точити <math>\varnothing 30_{k6}</math> мм у розмір 25 мм.</li> <li>5. Точити канавку <math>\varnothing 29,5</math> мм у розмір 3 мм.</li> <li>6. Точити <math>\varnothing 38</math> мм у розмір 7 мм.</li> <li>7. Точити фаску <math>45^\circ</math>.</li> <li>8. Точити <math>\varnothing 23</math> мм у розмір 29,5 мм.</li> <li>9. Точити <math>\varnothing 35</math> мм у розмір <math>62 \pm 0,5</math> мм.</li> <li>10. Точити фаску <math>45^\circ</math>.</li> <li>11. Точити <math>\varnothing 23</math> мм у розмір 29,5 мм.</li> <li>12. Точити фаску <math>45^\circ</math>.</li> <li>13. Точити <math>\varnothing 38</math> мм у розмір 7 мм.</li> <li>14. Точити <math>\varnothing 22_{-0,052}</math> мм у розмір 28 мм.</li> <li>15. Точити фаску <math>45^\circ</math>.</li> <li>16. Точити фаску <math>30^\circ</math>.</li> <li>17. Точити <math>\varnothing 25_{-0,084}</math> мм у розмір 25 мм.</li> <li>18. Точити фаску <math>45^\circ</math>.</li> <li>19. Точити <math>\varnothing 30_{k6}</math> мм у розмір 25 мм.</li> <li>20. Точити канавку <math>\varnothing 29,5</math> мм у розмір 3 мм.</li> </ol> |

Продовження таблиці 2.4

| 1   | 2                    | 3        | 4                                                       |
|-----|----------------------|----------|---------------------------------------------------------|
| 025 | Вертикально-фрезерна | 6Т13     | Фрезерувати шпонковий паз у розмір $37^{+0,39}$ мм      |
| 030 | Свердлильна          | 2Б118    | Свердлити отвір $\varnothing 6,5$ мм на глибину 1,5 мм. |
| 035 | Фрезерна             | 6Б54     | Фрезерувати витки черв'яка.                             |
| 040 | Шліфувальна          | 5М883    | Шліфувати витки черв'яка.                               |
| 045 | Мийна                | НРМ 800  | Промити деталь.                                         |
| 050 | Контрольна           | Стіл ВТК | Перевірити відповідність деталі кресленику.             |

## 2.5 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Як відомо, застосовуються два методи для визначення припусків на обробку: розрахунково-аналітичний та таблицний [29, 40, 48]. Визначення припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним методом проводимо для однієї найбільш точної поверхні. У нашому випадку це розмір  $\varnothing 30_{k6}$  мм.

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

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

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

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

$\rho_{i-1}$  – сумарні відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетину осей, позиційне) і у

деяких випадках відхилення форми поверхні (відхилення від площинності, прямолінійності) на попередньому переході;

$\delta_1$  – 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 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці  $\varnothing 30 \pm 0,3$  мм

| Технологічний перехід | Елемент припуску, мкм |     |            | Розр. припуск $2Z_{\text{прип.}}$ , мкм | Розр. розмір, $d_p$ , мм | Допуск $\delta$ , мкм | Граничний розмір, мм |            | Граничний припуск, мкм |             |
|-----------------------|-----------------------|-----|------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|------------|------------------------|-------------|
|                       | R                     | T   | $\epsilon$ |                                         |                          |                       | $D_{\max}$           | $D_{\min}$ | $2Z_{\max}$            | $2Z_{\min}$ |
| Покрівка              | 750                   | 750 | 960        | -                                       | 30,122                   | 2500                  | 38,6                 | 30,1       | -                      | -           |
| Точіння чорнове       | 250                   | 240 | 0          | 4920                                    | 31,202                   | 1200                  | 32,2                 | 31,2       | 6400                   | 4900        |
| Точіння чистове       | 40                    | 40  | 0          | 980                                     | 30,222                   | 160                   | 30,36                | 30,2       | 1840                   | 1000        |
| Шліфування чорнове    | 15                    | 15  | 0          | 160                                     | 30,062                   | 100                   | 30,2                 | 30,1       | 160                    | 100         |
| Шліфування чистове    | 5                     | 5   | 0          | 60                                      | 30,002                   | 13                    | 30,015               | 30,002     | 185                    | 98          |
| $\Sigma$              |                       |     |            |                                         |                          |                       |                      |            | 8585                   | 6098        |

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

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

$$8585 - 6098 = 2500 - 13;$$

$$2487 = 2487.$$

На решту поверхонь деталі припуски визначаються за довідником (таблиця 2.6)

Таблиця 2.6 – Припуски і допуски на поверхні деталі

| № пов. | Найменування поверхні | Найменування переходу | Припуск, мм | Квалітет | Технологічний допуск, мм |
|--------|-----------------------|-----------------------|-------------|----------|--------------------------|
| 1      | 2                     | 3                     | 4           | 5        | 6                        |
| 1, 2   | Торці, l=150          | Фрезерування          | 8           | IT14/2   | $\pm 0,3$                |
| 4, 5   | Циліндрична $\phi 22$ | Чорнове точіння       | 4,5         | 11       | $\pm 0,05$               |
|        |                       | Чистове точіння       | 0,5         | 9        | $\pm 0,01$               |
|        |                       | Шліфування            | 0,2         | 8        | $\pm 0,005$              |
| 6      | Циліндрична $\phi 25$ | Чорнове точіння       | 7,0         | 11       | $\pm 0,05$               |
|        |                       | Чистове точіння       | 1,0         | 9        | $\pm 0,03$               |
|        |                       | Шліфування чорнове    | 0,2         | 7        | $\pm 0,01$               |
|        |                       | Шліфування чистове    | 0,05        | 6        | $\pm 0,005$              |
| 7      | Циліндрична $\phi 38$ | Чорнове точіння       | 4,5         | 10       | $\pm 0,05$               |
|        |                       | Чистове точіння       | 0,5         | 8        | $\pm 0,01$               |
| 8      | Паз шпонковий         | Фрезерування          | 2,5         | 9        | $\pm 0,01$               |
| 11     | Циліндрична $\phi 23$ | Чорнове точіння       | 3,0         | 10       | $\pm 0,05$               |
|        |                       | Чистове точіння       | 1,0         | 8        | $\pm 0,01$               |

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для операції механічної обробки валу черв'ячного (свердління отвору) розробляємо конструкцію затискного пристосування, керуючись рекомендаціями [12, 36, 38, 39]. Складальне креслення пристосування представлено у графічній частині роботи, а також на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Пристосування затисне

Пристосування складається із наступних елементів: 1 – притискач; 2 – шток; 3 – затискач; 4 – упор; 5 – призма; 6 – шпонка; 7 – плита; 8 – планка затискна; 9 – трубка.

Принцип дії пристосування наступний. Деталь, що зазнає обробки розташовується у призмах 5 та упирається торцем в упор 4. Під час роботи пневматичного циліндру двобічної дії шток 2 рухається вниз. В результаті цього відбувається переміщення притискача 1 вниз. Деталь закріплюється у призмах. Осьове зміщення унеможливується торцевим упором. При подачі стиснутого повітря у протилежну штокову порожнину – шток рухається вгору. Притискач 1 підіймається – деталь розкріплюється. Пристосування є універсальним, тобто його можливо застосовувати для іншої деталі, що має схожу конфігурацію.

Характерною особливістю пристосування є можливість закріплення відразу двох деталей.

### 3.2 Розрахунок зусилля затиску

Складемо схему діючих сил і визначимо з неї силу, що необхідна для затиску, використовуючи положення [7, 28, 12, 36, 38, 39].

Розраховуємо осьову силу при свердлінні:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.1)$$

де  $D$  – діаметр свердла,  $D = 6,5$  мм;

$S$  – подача,  $S = 0,1$  мм;

$U = 0,7$ ,  $K_p = 0,85$ ,  $C_p = 68$ ,  $x = 0$ ,  $q = 1$ .

Отже,

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 6,5^1 \cdot 0,1^{0,7} \cdot 0,85 = 749,62 \text{ (Н)}.$$

Визначимо необхідну силу затискання:

$$W = \frac{K \cdot P_0}{f_1 + \frac{f_2}{\sin \alpha / 2}}, \quad (3.2)$$

де  $P_0$  – осьова сила;

$K$  – коефіцієнт запасу  $K=1,5$ ;

$f_1$  – коефіцієнт тертя між заготовкою і затискним пристроєм, 0,1;

$f_2$  – коефіцієнт тертя між заготовкою і опорами, 0,1;

$\alpha$  – кут призми, град.

$$W = \frac{1,5 \cdot 749,62}{0,1 + \frac{0,1}{\sin 90^\circ / 2}} = 4658 \text{ (Н)}.$$

### 3.3 Розрахунок параметрів силового приводу

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

Для даного механізму можна записати:

$$Q=W/i, \quad (3.3)$$

де  $i$  – передавальне відношення сил, що характеризує конструктивні параметри механізму. Для даного пристосування  $i = 1$ . З урахуванням цього зусилля  $Q=W=4658 \text{ Н}$ .

У розробленому пристосуванні, яке застосовується під час обробки валу черв'ячного на операції 030 (вертикально-свердлильна), а саме для свердління отвору  $\varnothing 6,5 \text{ мм}$ , сила на штоці для прямого його руху визначається за формулою:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta}{4}, \text{ Н}, \quad (3.4)$$

де  $p$  – тиск в пневмосистемі,  $p = 0,6$  МПа;

$D$  – діаметр поршня;

$\eta$  – ККД, який враховує втрати на тертя в циліндрі,  $\eta = 0,75$ ;

Звідки діаметр:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}}; \quad (3.5)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4653}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,75}} = 114,8 \text{ (мм)}.$$

Діаметри пневмоциліндрів нормалізовані: 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250 та 300 мм. У нашому випадку діаметр пневмоциліндру приймемо 125 мм.

### 3.4 Розрахунок слабкої ланки на міцність

Однією з найслабкіших ланок механізму затискного пристосування є різьба М10 на штоці. Проведемо її розрахунок на міцність. Умова міцності має наступний вид:

$$\sigma_p = \frac{P_z}{A_p} \leq [\sigma]_p \quad (3.6)$$

де  $\sigma_p$  – діюче напруження розтягу, МПа,

$A_p$  – площа навантаженого перерізу, м<sup>2</sup>;

$$A_p = \frac{3,14 \cdot (8,6 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 5,81 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)}. \quad (3.7)$$

Отже,

$$\sigma_p = \frac{4658}{5,81 \cdot 10^{-5}} = 80,2 \cdot 10^6 \text{ (МПа)}.$$

Так як, діюче напруження становить 80,2 МПа, а допустиме 100 МПа, то можна зробити висновок, що шток із різьбою має достатню міцність.

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

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для деталі «Вал черв'ячний», що виготовляється зі сталі 45, способи отримання заготовок: виготовлення з прокату та штампування на горизонтально-кувальній машині.

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

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

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{з}}}, \quad (4.1)$$

де  $m_{\text{д}}$ ,  $m_{\text{з}}$  – маси деталі й заготовки відповідно.

Маса готової деталі  $m_{\text{д}} = 1,32$  кг, маса заготовки із прокату  $m_{\text{з}} = 3,1$  кг, орієнтовна маса проектного штампування  $m_{\text{з}} = 2,2$  кг.

Прокат:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{1,32}{3,1} = 0,43.$$

Штампування:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{1,32}{2,2} = 0,6.$$

Як видно за коефіцієнтами використання матеріалу, штампування має менші втрати металу, ніж заготовка із прокату.

Визначимо вартість заготовки із прокату:

$$S_{\text{заг}} = m_{\text{з}} \cdot \frac{S_{\text{пр}}}{1000} - (m_{\text{з}} - m_{\text{д}}) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000}, \quad (4.2)$$

де  $S_{np}$  – вартість 1 тони прокату ( $S_{np} = 45000$  грн/т),

$S_{omx}$  – вартість 1 тони відходів ( $S_{omx} = 8000$  грн/т).

$$S_{заг} = 3,1 \cdot \frac{45000}{1000} - (3,1 - 1,32) \cdot \frac{8000}{1000} = 125,26 \text{ грн.}$$

Вартість штампування

$$S_{заг} = \left( \frac{C_i}{1000} m_s \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_b \cdot k_M \cdot k_n \right) - (m_s - m_o) \frac{S_{одх}}{1000}, \quad (4.3)$$

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

$k_m, k_c, k_b, k_M, k_n$  – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й обсягу виробництва ( $k_m = 1$ ;  $k_c = 1,21$ ;  $k_b = 0,75$ ;  $k_M = 1,61$ ;  $k_n = 0,8$ ).

Вартість штампування складе:

$$S_{заг} = \left( \frac{45000}{1000} \cdot 2,2 \cdot 1 \cdot 1,21 \cdot 0,75 \cdot 1,61 \cdot 0,8 \right) - (2,2 - 1,32) \frac{8000}{1000} = 108,7 \text{ грн.}$$

Економічний ефект у цьому випадку буде становити:

$$E = (125,26 - 108,7) \cdot 500 = 8280 \text{ (грн.)}.$$

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

## 4.2 Заходи зі зменшення виробничого шуму на підприємстві

Зменшення виробничого шуму – важливе завдання підвищення комфорту працівників і дотримання норм охорони праці [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50]. Розглянемо основні заходи, що можуть допомогти у цьому напрямкові.

### 1. Шумоізоляція

1.1. Застосування звукоізолюючих перегородок. Для цього необхідно використовувати перегородки із звукопоглинаючих матеріалів, таких як мінеральна вата, скловата або спеціальні шумоізолюючі панелі. Їх можна поєднувати з гіпсокартоном для досягнення кращого ефекту. За можливістю використовувати безкаркасні перегородки, що можуть бути ефективнішими у зниженні звуку, ніж стандартні конструкції.

1.2. Застосування акустичних панелей. Є різні види панелей – деякі поглинають звук (м'які), інші – відбивають (жорсткі). Підбирати панелі необхідно залежно від особливостей приміщення та джерел шуму. Панелі повинні бути розміщені в тих місцях, де звук найбільше відбивається (кути, стіни, стеля). Також важливо враховувати їх розмір та кількість, щоб досягти максимального ефекту.

2. Акустичні екрани. Необхідно використовувати екрани зі звукопоглинаючих матеріалів (цільні тканини, акрил, пінопласт). Вони можуть бути покриті спеціальними звукопоглинаючими покриттями. Мобільні екрани можуть бути корисними для тимчасових робочих місць або для зміни конфігурації робочого простору. Вони забезпечують гнучкість та адаптивність.

### 3. Заміна обладнання

3.1. Більш тихе обладнання. При закупівлі нового обладнання звертати увагу на рівень шуму, вказаний виробником. Порівнювати різні моделі та вибирати ті, що мають найменший рівень дБ. Багато нових моделей обладнання не тільки працюють тихіше, але й ефективніші, що дозволяє заощадити на електроенергії.

3.2. Регулярне обслуговування. Необхідно встановити регулярні графіки технічного обслуговування та ремонту. Це допоможе виявляти та усувати потенційні джерела шуму. Звертати увагу на деталі, що можуть викликати підвищений шум (підшипники, паси тощо) та замінювати їх у міру зношування.

4. Віб्रोізоляція. Використовувати гумові або силіконові підкладки, що ефективно гасять вібрації. Вони можуть бути як важкого, так легкого устаткування. Під час встановлення необхідно переконатися, що підкладки правильно встановлені та забезпечують надійне зчеплення з підлогою та обладнанням.

5. Організація робочого простору.

5.1. Оптиміальне розташування обладнання. Розділити простір на зони залежно від рівня шуму (зонування). Наприклад, розмістити шумне обладнання подалі від робочих місць, де потрібні зосередженість та тиша. Розташування обладнання має бути зручним для працівників, щоб уникнути додаткового стресу (ергономіка).

5.2. Створення «тихих зон». Створити кімнати або куточки для відпочинку, де працівники можуть працювати або відпочивати далеко від шуму. Ці зони можуть бути оформлені з використанням акустичних панелей та м'яких меблів. Можливе встановлення спеціальних звукоізолюючих дверей та вікон, щоб мінімізувати зовнішній шум.

6. Використання засобів захисту. Надати працівникам різні засоби індивідуального захисту (беруши, навушники), щоб вони могли вибрати найбільш зручні для себе. Провести навчання співробітників правильному використанню та догляду за засобами захисту, щоб вони були ефективними.

7. Регулярний моніторинг.

7.1. Виміри рівня шуму. Використовувати професійні шумоміри для регулярного моніторингу рівнів шуму. Переконатися, що виміри проводяться у різні години та за різних умов. Вести записи про вимірювання та їх аналіз для виявлення тенденцій та змін.

7.2. Аналіз джерел шуму. Провести аудит, щоб з'ясувати, які машини чи процеси створюють максимальний шум. Це може вимагати участі фахівців з

акустики. На основі отриманих даних розробити рекомендації щодо усунення або мінімізації шуму.

#### 8. Навчання та інформування.

8.1. Семінари та тренінги. Регулярно проводити семінари з охорони праці та безпеки життєдіяльності, включаючи теми, пов'язані з шумом та його наслідками. Використовувати інтерактивні методи навчання (групові обговорення, рольові ігри), щоб підвищити залучення працівників.

8.2. Розробка інструкцій. Створити інформаційні матеріали (плакати, буклети), що нагадуватимуть працівникам про важливість зниження шуму. Забезпечити можливість працівникам надавати зворотний зв'язок із проблем з шумом та пропонувати свої ідеї стосовно покращення умов праці.

Отже, такі заходи потребують комплексного підходу та залучення усіх рівнів управління. Стійке зниження рівня шуму у виробничих приміщеннях не тільки покращує умови праці, а й сприяє підвищенню загальної продуктивності і задоволеності працівників. Правильна реалізація цих заходів допоможе створити безпечне та комфортне робоче середовище.

#### 4.3 Мінімізація впливу підприємств машинобудування на довкілля

Скорочення негативного впливу підприємств машинобудування на екологію – це комплексне завдання, що потребує впровадження різноманітних стратегій та заходів. Розглянемо кожен з них докладніше.

##### 1) впровадження чистих технологій:

- сучасне обладнання (використання вискооефективних та низькоемісійних технологій, таких як лазерне різання, 3D-друк та автоматизація, може знизити споживання ресурсів та відходи);

- замкнуті виробничі цикли (розробка процесів, у яких відходи одного етапу стають сировиною наступного. Це знижує загальний обсяг відходів та збільшує ефективність використання матеріалів);

2) енергоефективність:

- енергетичний аудит (проведення регулярних енергетичних аудитів для виявлення можливостей зниження споживання енергії та оптимізації процесів);
- використання альтернативних джерел енергії (інвестиції у сонячні панелі, вітрові установки або біомасу можуть скоротити залежність від видів палива);

3) управління відходами:

- система роздільного збирання (впровадження системи роздільного збирання відходів (метали, пластик, папір тощо) для подальшої переробки);
- мінімізація використання небезпечних матеріалів (перегляд технологій та процесів для скорочення або виключення застосування токсичних речовин та матеріалів);

4) очищення стоків:

- сучасні системи очищення (установка систем механічного, біологічного та хімічного очищення стічних вод для видалення забруднюючих речовин, наприклад, застосування мембранних технологій чи зворотного осмосу);
- моніторинг якості води (регулярне тестування стічних вод на наявність важких металів, органічних сполук та інших забруднювачів, щоб гарантувати відповідність нормам);

5) зниження викидів:

- обслуговування та модернізація обладнання (регулярне технічне обслуговування та оновлення обладнання для зменшення викидів та підвищення його ефективності);
- системи уловлювання та фільтрації (встановлення фільтрів та систем уловлювання пилу, газу та інших забруднюючих речовин на виробничих майданчиках);

6) навчання та залучення співробітників:

- екологічні тренінги (проведення регулярних навчальних заходів для працівників про важливість охорони навколишнього середовища та методи зниження впливу);

- ініціатива співробітників (стимулювання працівників до пропозиції ідей щодо покращення екологічної практики та скорочення відходів, наприклад, через програми заохочення)

7) співпраця із зацікавленими сторонами:

- взаємодія з місцевими спільнотами (відкрите спілкування з жителями та організаціями з питань екології, спільні проєкти з очищення територій та відновлення екосистем);

- робота з державними структурами (співпраця з екологічними службами для отримання консультацій та впровадження найкращих практик);

8) моніторинг та звітність.

- постійний моніторинг (встановлення систем моніторингу викидів та стічних вод, що дозволяє оперативного реагувати на перевищення допустимих норм);

- екологічний аудит (проведення регулярних екологічних аудитів для оцінки впливу виробничих процесів на довкілля та виявлення областей для покращення;

9) інновації та дослідження

- інвестиції в НДДКР (підтримка наукових досліджень та розробок нових технологій та матеріалів, що можуть знизити вплив на навколишнє середовище);

- партнерство з університетами та дослідницькими інститутами (співпраця для обміну знаннями та досвідом, а також для розробки та впровадження нових екологічно чистих технологій)

Отже, систематичний підхід до цих заходів може значно скоротити негативний вплив підприємств машинобудування на екологію, сприяючи більш стійкому та відповідальному виробництву. Важливо пам'ятати, що охорона навколишнього середовища – це не лише відповідальність бізнесу, а й загальне завдання, яке потребує залучення усіх стейкхолдерів.

## ВИСНОВКИ

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

1. Визначено службове призначення редуктора одноступінчастого. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме черв'ячного валу. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно замінника-аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – середньосерійний.

2. Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталь. Запропоновано схеми базування. Розроблено маршрут обробки поверхонь валу. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні  $\varnothing 30k6$  мм розрахунково-аналітичним методом, на решту поверхонь – табличним способом.

3. Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час операції механічної обробки валу черв'ячного (свердління отвору). Визначено зусилля затиску. Розраховано параметри силового приводу, слабку ланку на міцність.

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки валу черв'ячного одноступінчастого редуктора. Річний економічний ефект для програми випуску 500 шт. склав 8280 грн. Окрім того, запропоновано заходи зі зменшення рівня виробничого шуму, а також шкідливого впливу підприємств машинобудівної галузі на довкілля.

5. У графічній частині роботи наведено кресленик редуктора одноступінчастого, кресленик черв'ячного валу, кресленик заготовки черв'ячного валу, складальний кресленик затискного пристосування для виконання операції механічної обробки деталі свердлінням.