

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА**  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту  
“    ”    2024 р.  
Зав. кафедри к.т.н., доцент  
(науковий ступінь, вчене звання)  
А.В. Войтік  
(підпис)    (ініціали, прізвище)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломної роботи  
магістр  
(освітній рівень)

Тема роботи: **«Проектування слюсарно-механічної дільниці ремонтного цеху з розробкою технології відновлення первинного валу і шестерні коробки передач автомобіля ЗИЛ-5301»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім  
освітньої програми магістр  
спеціальності 208  
«Агроінженерія»  
Воропай Руслан Васильович  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Петриченко.Є.А.  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА**  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії

Освітня програма \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 208 «Агроінженерія» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
**А.В. Войтік**  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

студенту \_\_\_\_\_ **Воропаю Руслану Васильовичу** \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проектування слюсарно-механічної дільниці ремонтного цеху з розробкою технології відновлення первинного валу і шестерні коробки передач автомобіля ЗИЛ-5301»

керівник роботи \_\_\_\_\_ **к.т.н., доцент Петриченко Є.А.** \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
“14” листопада 2024 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 25.11.2024 р. \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: Марка автомобіля ЗИЛ-5301, базовий технологічний процес відновлення первинного валу і шестерні коробки передач автомобіля

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

– 0

–

5. Перелік презентаційних матеріалів: презентація (не більше 20 слайдів).

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                           | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Дата підпису    |                  |
|----------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|------------------|
|                                  |                                           | видали завдання | прийняв завдання |
| Техніко-економічне обґрунтування | Петриченко Є.А., доцент                   |                 |                  |
| Охорона праці                    | Прокопенко Е.В., доцент                   |                 |                  |

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2024 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи                             | Строк виконання етапів роботи | При-мітка |
|-------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 1.    | Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу | 30.04.2024 р.                 |           |
| 2.    | Розділ 1.                                                 | 14.05.2024 р.                 |           |
| 3.    | Розділ 2.                                                 | 28.05.2024 р.                 |           |
| 4.    | Розділ 3.                                                 | 11.06.2024 р.                 |           |
| 5.    | Розділ 4.                                                 | 25.06.2024 р.                 |           |
| 6.    | Розділ 5.                                                 | 24.09.2024 р.                 |           |
| 7.    | Виконання ілюстративної частини роботи                    | 23.10.2024 р.                 |           |
| 8.    | Представлення роботи керівнику на перевірку               | 25.11.2024 р.                 |           |

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис )Воропай Р.В.  
(прізвище та ініціали)Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )Петриченко Є.А.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Воропай Р.В. "Проектування слюсарно-механічної дільниці ремонтного цеху з розробкою технології відновлення первинного валу і шестерні коробки передач автомобіля ЗИЛ-5301" (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 58 сторінках, включаючи 5 розділів, 12 рисунків, 10 таблиць, 25 джерел літератури).

Робота присвячена вдосконаленню технологічного процесу ремонту та відновлення деталей трансмісії автомобіля ЗИЛ-5301 на прикладі первинного валу і шестерні коробки передач. Мета дослідження полягає в оптимізації процесів ремонту та відновлення деталей для продовження терміну їх служби.

У першому розділі проаналізовано умови експлуатації деталей трансмісії та їх основні функції. Встановлено причини виникнення несправностей первинного валу і шестерні, що впливають на їх зносостійкість.

Другий розділ присвячений дослідженню існуючих методів відновлення первинного валу і шестерні. Детально описано нову конструкцію пристосування для закріплення деталей під час механічної обробки.

Третій розділ включає розробку вдосконаленого технологічного процесу відновлення деталей в умовах авторемонтного виробництва, з акцентом на механічну обробку та наплавлення.

У четвертому розділі проведено техніко-економічне обґрунтування процесу відновлення, визначено необхідне обладнання і кількість працівників.

П'ятий розділ стосується охорони праці, де розраховано рівні шуму та заземлення верстатів, а також розроблено заходи безпеки при надзвичайних ситуаціях.

**Ключові слова:** автомобіль, трансмісія, відновлення, ремонт, первинний вал, шестерня, охорона праці, економічне обґрунтування.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>                                                                                                          | <b>8</b>  |
| 1.1 Аналіз особливостей наплавлення тіл обертання.....                                                                                            | 8         |
| 1.2 Види поверхневої лазерної обробки.....                                                                                                        | 10        |
| 1.3 Лазерне імпульсне наплавлення як перспективне метод<br>відновлення деталей автомобілів.....                                                   | 12        |
| <b>2.ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>                                                                                                                 | <b>15</b> |
| 2.1 Наукові досягнення по темі роботи.....                                                                                                        | 15        |
| 2.2 Обґрунтування вибору наукової роботи.....                                                                                                     | 17        |
| <b>3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....</b>                                                                                                                 | <b>21</b> |
| <b>3.1 Розробка організаційно-аналітичних рішень.....</b>                                                                                         | <b>21</b> |
| 3.1.1 Технічні умови на контроль-сортування вала первинного<br>й шестірні коробки передач автомобіля Зил-5301.....                                | 21        |
| 3.1.2 Розробка технологічних маршрутів і оснащення<br>операцій відновлення вала первинного й шестірні коробки передач<br>автомобіля Зил-5301..... | 21        |
| 3.1.3 Розрахунки операцій технологічного процесу відновлення<br>вала первинного .....                                                             | 23        |
| 3.1.4 Розрахунки операцій технологічного процесу відновлення шестірні.....                                                                        | 28        |
| 3.1.5 Проектування ділянки ремонтного цеху.....                                                                                                   | 37        |
| <b>3.2 Розробка конструкторських рішень.....</b>                                                                                                  | <b>40</b> |
| 3.2.1 Використання приспособлень в умовах АТП.....                                                                                                | 40        |
| 3.2.2 Приспособлення для базування шестірні і принцип дії.....                                                                                    | 40        |
| 3.2.3 Розрахунки приспособлення на міцність.....                                                                                                  | 41        |
| 3.2.4 Визначення основних характеристик силового<br>механізму пристосування.....                                                                  | 43        |
| 3.2.5 Конструювання й розрахунки приспособлення.....                                                                                              | 43        |
| <b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>                                                                                                                      | <b>45</b> |
| 4.1 Вплив негативних факторів під час роботи.....                                                                                                 | 45        |
| 4.2 Оцінка проектного технологічного процесу виходячи з<br>умов пожежної безпеки.....                                                             | 46        |

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3 Визначення площини ураження метаном і пропаном..... | 48        |
| <b>5.ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....</b>                | <b>51</b> |
| 5.1 Розробка техніко-економічної частини.....           | 51        |
| <b>ВИСНОВОК.....</b>                                    | <b>56</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>                  | <b>57</b> |

## ВСТУП

Останнім часом в Україні склалося складне економічне становище, яке безпосередньо вплинуло на розвиток транспортної галузі. Це призвело до значного зниження продуктивності праці та якості виробленої продукції [1].

Серед головних завдань ремонтного виробництва на сьогодні – підвищення надійності та довговічності машин, а також зниження вартості їх ремонту. Це вимагає подальшого вдосконалення технологій, впровадження автоматизації та комплексної механізації технологічних процесів, а також використання сучасних методів обробки деталей і складання машин. Технології виробництва та ремонту машин повинні базуватися на новітніх досягненнях науки і техніки. Важливими напрямками вдосконалення ремонту автомобілів є впровадження сучасних технологічних процесів, оптимізація організації та управління виробничою діяльністю, підвищення ефективності використання основних виробничих фондів та зниження матеріальних і трудових витрат у галузі.

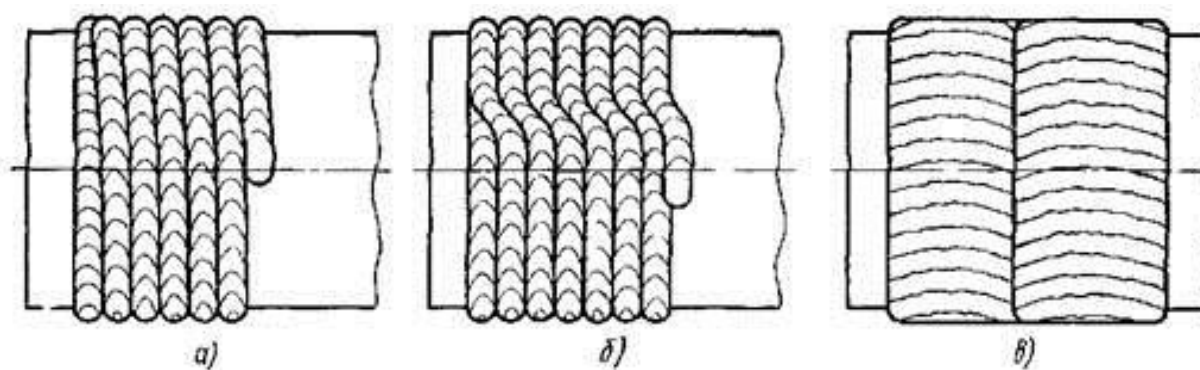
У цій роботі буде розглянуто вдосконалення процесу ремонту деталей трансмісії автомобіля ЗИЛ-5301 на прикладі первинного вала та шестерні коробки передач в умовах авторемонтного виробництва.

## 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Аналіз особливостей наплавлення тіл обертання

У машинобудівному виробництві наплавлення використовується для підвищення зносостійкості тертьових поверхонь, тоді як у ремонтному виробництві основним його призначенням є відновлення розташування, форми та розмірів зношених елементів. При цьому відновлювальне наплавлення також забезпечує отримання нових властивостей поверхонь, таких як корозійна, ерозійна, кавітаційна, зносостійкість, жаростійкість тощо. Наплавлення і зварювання становлять понад 70% усіх трудомістких операцій під час відновлення деталей, причому наплавлення зношених поверхонь займає провідне місце завдяки своїй універсальності [3-5].

Наплавлення тіл обертання вручну, штучними електродами або шланговим напівавтоматом з відкритою дугою, виконують окремими валиками уздовж утворюючої або круговими валиками. У першому випадку вісь деталі розташовують горизонтально, а в другому — вертикально. При механізованих способах наплавлення тіл обертання найбільш ефективним є наплавлення по гвинтовій лінії або кільцевими валиками (рис. 1.1).



а — по гвинтовій лінії; б — кільцевими валиками з переривчастим зсувом на крок; в — широким валиком

Рисунок 1.1 – Наплавлення тіл обертання

Наплавлення по гвинтовій лінії доцільно застосовувати для деталей з невеликим діаметром (менше 100 мм) [4]. Недоліком цього методу є необхідність використання в наплавлювальній установці редуктора з великим передаточним числом, який забезпечує малий крок (приблизно 3-15 мм на кожен оберт виробу). Через це останні конструкції наплавлювальних установок, особливо для деталей

великого діаметра, віддають перевагу наплавленню кільцевими валиками (рис. 1.1б). Широкошарове наплавлення за схемою, показаною на рисунку 1.1в, також є досить ефективним. Для деталей середнього діаметра (100-400 мм) рекомендується застосовувати поперечні коливання електрода, а для більших діаметрів — наплавлення електродною стрічкою.

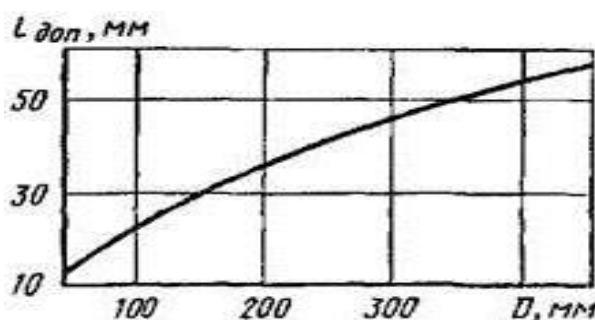
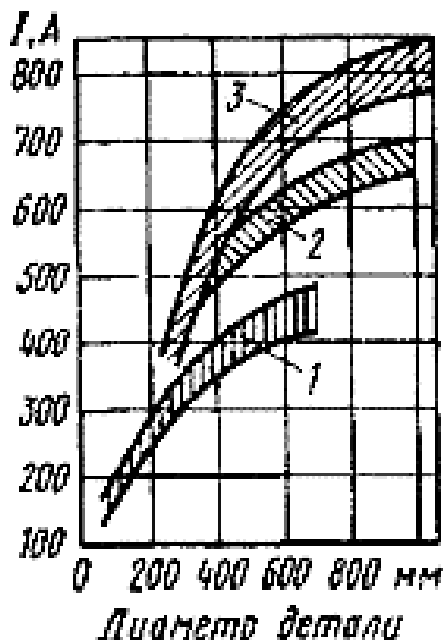


Рисунок 1.2 – Залежність припустимої довжини зварювальної ванни  $L_{\text{доп}}$  від діаметра виробу, що наплавляється  $D$

Труднощі наплавлення тіл обертання пов'язані головним чином з ризиком стікання зварювальної ванни, який стає більшим при зменшенні діаметра виробу та збільшенні довжини зварювальної ванни (рис. 1.2). Щоб уникнути стікання металу, електрод зміщують відносно осі виробу в напрямку, протилежному до обертання деталі, і вибирають такий режим наплавлення, при якому довжина зварювальної ванни не перевищує допустимих меж. Порівняно зі звичайним наплавленням одним дротовим електродом, широкошарове наплавлення (багатоелектродне, стрічкою, з поперечним коливанням електрода) за інших рівних параметрів режиму забезпечує коротшу зварювальну ванну. Це дозволяє для деталей з певним діаметром збільшити силу струму  $i$ , відповідно, підвищити продуктивність процесу (рис. 1.3). Наплавлення деталей малого діаметра (менше 100 мм) доцільно виконувати відкритою дугою, оскільки наявність флюсу і рідкої жужільної ванни може сприяти стіканню металу [5].



1 – одним електродом діаметром 3-3,5 мм; 2 – одним електродом діаметром 4-5 мм 3 – трьома електродами діаметром 4 – 3,5 мм і стрічкою перетином 0,5x50 мм

Рисунок 1.3 – Залежність сили струму від діаметра деталі

При зміщенні електрода від zenіту (при наплавленні зовнішніх поверхонь) або від нижньої точки (при наплавленні внутрішніх поверхонь) на 10-50 мм важливо забезпечити, щоб не відбувалося осипання флюсу та затікання шлаків вперед по напрямку обертання деталі, а також стікання металу назад.

Наплавлення поверхонь конічної форми не викликає значних труднощів, якщо кут нахилу не перевищує  $20^\circ$  (для наплавлення під флюсом) або  $30-40^\circ$  (для наплавлення дугою). У таких випадках наплавлення завжди ведеться знизу вгору. Збільшення нахилу потребує використання спеціального обладнання з маніпулятором, який дозволяє розташовувати поверхню, що наплавляється, в горизонтальному положенні. В таких умовах доцільніше застосовувати відкриту дугу, оскільки наплавлення під флюсом вимагає використання спеціальних пристроїв для утримання флюсу [6].

Наплавлення внутрішніх поверхонь також доцільно проводити відкритою дугою, оскільки це усуває потребу в складних пристроях для подачі та видалення флюсу і виключає трудомісткий процес видалення шлакової кірки [6].

## 1.2 Види обробки поверхонь лазером

Залежно від розвитку процесів, обробку поверхонь лазером (табл. 1.1) можна поділити на кілька видів, кожен з яких визначається щільністю потужності випромінювання [5, 6].

При зміщенні без фазового переходу зберігається вихідна шорсткість

оброблюваної поверхні. Швидке локальне нагрівання поверхні з подальшим охолодженням за рахунок теплопроводу в масив матеріалу призводить до утворення в поверхневому шарі сталі специфічної високодисперсної, дезорієнтованої структури, що має мікротвердість, яка в 2-4 рази перевищує мікротвердість основного матеріалу (матриці). При низькій щільності потужності та швидкостях нагрівання й охолодження, що не перевищують критичних значень, можливий режим відпалу раніше загартованих матеріалів. Така операція необхідна, наприклад, при виготовленні листових пружин, відбортунні країв обойми підшипника тощо.

Для реалізації цих видів обробки не потрібно спеціальне середовище, процес проводиться в атмосфері повітря, що може призвести до часткової дифузії компонентів повітря в опромінену зону.

Інший вид поверхневої обробки—лазерне легування—передбачає насичення поверхневого шару легуючими елементами, що вимагає використання спеціального середовища (газоподібного, рідкого або твердого). У результаті на обробленій поверхні формується новий сплав, відмінний за складом і структурою від матричного матеріалу.

Лазерне наплавлення дозволяє наносити на поверхню деталі додатковий матеріал, що покращує експлуатаційні характеристики вихідного матеріалу.

Таблиця 1.1 – Види поверхневої лазерної обробки

| Вид обробки                           | Щільність<br>потужності на 1 см <sup>2</sup> | Швидкість<br>охолодження. °C | Глибина ЗТВ, мм |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Зміцнення без<br>фазового переходу    | 103–104                                      | 104–105                      | 0,2–0,5         |
| Лазерний відпал                       | 102–103                                      | —                            | 0,05–0,1        |
| Зміцнення з<br>фазовим переходом      | 104–105                                      | 105–106                      | 1,2–3,0         |
| Лазерне легування                     | 104–106                                      | 104–106                      | 0,2–2,0         |
| Лазерне<br>наплавлення<br>(напилення) | 104–106                                      | 104–106                      | 0,02–0,3        |

### 1.3 Лазерне імпульсне наплавлення як перспективний метод відновлення деталей автомобілів

Існуючі технології наплавлення, широко використовувані в інструментальному виробництві (електроіскровий і мікроплазмовий методи, наплавлення електродами), не повністю відповідають сучасним вимогам ремонтного виробництва. Лазер, завдяки високому коефіцієнту концентрації енергії у місці контакту, де розмір променя складає всього 0,2-0,3 мм, дозволяє значно зменшити зону нагрівання матеріалу, що обробляється, і забезпечує більш точний і ефективний процес відновлення деталей [7].



Рисунок 1.4 – Результат відновлення деталі лазерним наплавленням. Порівняльний аналіз наплавлення електричною дугою та твердотільним імпульсним лазером з довжиною хвилі 1,06 мкм наведено в таблиці 1.2 [7].

Технологія лазерного наплавлення може бути ефективно застосована для відновлення зношених деталей автомобілів. До видів дефектів, які усуваються за допомогою лазерного наплавлення, належать: місця проби на твердість HRC, тріщини, забоїни, задири, раковини, пори, тріщини при розпалі та місця адгезійного схоплювання.

Таблиця 1.2 – Результати аналізу наплавлення електричною дугою й твердотільним імпульсним лазером

| Технічна характеристика методу                 | Електрична дуга | Промінь лазера<br>( $\lambda = 1,06$ мкм) |
|------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|
| Ефективний радіус теплового джерела нагрівання | 2-3 мм          | 0,2; 0,3 мм                               |
| Зони термічного впливу                         | До декількох мм | Кілька десятків мкм                       |
| Поперечні й поздовжні деформації               | +               | -                                         |
| Підрізи                                        | +               | -                                         |

|                                |      |   |
|--------------------------------|------|---|
| Попередній і супутній підігрів | +    | - |
| Наступна термічна обробка      | +, - | - |

Технологічний процес лазерного наплавлення полягає в одночасному підведенні до місця дефекту лазерного випромінювання та присадного дроту в середовищі інертних газів. Присадний матеріал, розплавляючись, заповнює дефектне місце. Після лазерного наплавлення потрібно значно менше механічної обробки порівняно з традиційними методами наплавлення.

Для запобігання окисненню розплавленого металу зона наплавлення захищається інертними газами, наприклад, сумішшю аргону та гелію. Лазерні установки твердотільного типу, оснащені світловолокнистими оптичними системами, використовуються для наплавлення великогабаритних прес-форм довжиною до кількох метрів.

Імпульсне лазерне наплавлення має низку переваг [6, 7]:

Функціональну схему технології імпульсного лазерного наплавлення зображено на рисунку 1.5. Для наплавлення використовується модернізована твердотільна установка ЛТУ-2М, оснащена світловолокнистою системою.

Прикладом успішного промислового застосування технології імпульсного лазерного наплавлення є фірма O.R. Laser Technology (рис. 1.6).

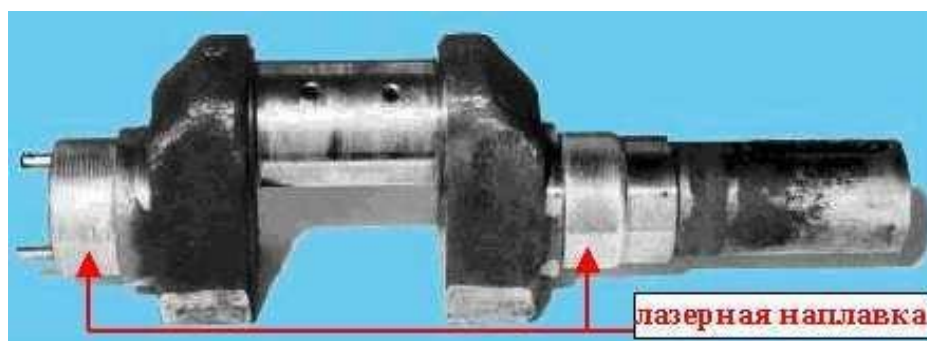


Рисунок 1.5 – Функціональна схема технології імпульсного лазерного наплавлення

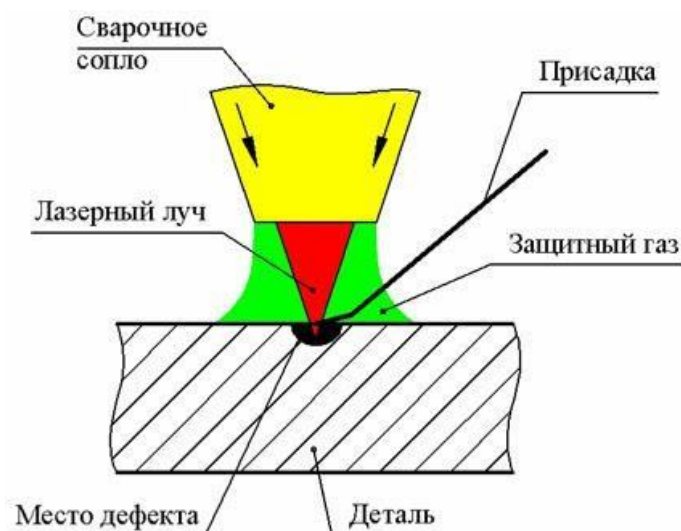


Рисунок 1.6 – Відновлені з використанням технології імпульсного лазерного наплавлення деталі

Застосування світловолоконної системи довжиною в кілька метрів дозволяє проводити ремонт у найбільш важкодоступних за геометрією місцях. Цю технологію можна використовувати для усунення різних дефектів, що виникають під час електродугового зварювання, таких як тріщини (холодні та гарячі), раковини, кратери, свищі та подрізи. Використання світловолоконних систем для доставки лазерного променя безпосередньо до місця дефекту дає змогу ремонтувати деталі без їх демонтажу. При цьому зона термічного впливу не перевищує 15 мкм, а структура наплавленого шару є дрібнодисперсною.

## 2 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Наукові досягнення по темі роботи

Аналіз експлуатаційних умов і характерних дефектів автомобільної техніки вказує на недостатню якість виготовлених деталей, особливо з точки зору зносостійкості та міцності найбільш навантажених поверхонь. У майстернях автомобільних підприємств відновлюється і виготовляється широкий асортимент деталей, які не піддаються термообробці, зміцненню або обробці, спрямованій на підвищення зносостійкості їх поверхонь. Високоякісне виготовлення та ремонт автомобільної техніки може бути забезпечено завдяки впровадженню ефективних методів зміцнення та відновлення деталей.

Одним із напрямків підвищення ресурсу відремонтованої техніки та зменшення витрат на запасні частини є впровадження в ремонтне виробництво технології відновлення зовнішніх циліндричних поверхонь деталей типу «вал» за допомогою електромеханічної обробки.

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування та дослідження технології відновлення посадкових місць під підшипники кочення на деталях типу «вал» за допомогою електромеханічної обробки. Основні завдання дослідження включають:

- Аналіз стану деталей типу «вал», що надходять у ремонт, та вивчення характерних дефектів їх робочих поверхонь;
- Оцінка основних методів відновлення деталей типу «вал» та обґрунтування можливості застосування технології електромеханічної обробки.

Аналіз типових дефектів машинних деталей свідчить, що найчастіше порушується посадка у з'єднаннях вал-підшипник кочення. Для відновлення працездатності таких вузлів застосовуються різні методи, причому вибір оптимального методу відновлення деталей визначається за критеріями придатності, довговічності та техніко-економічної ефективності.

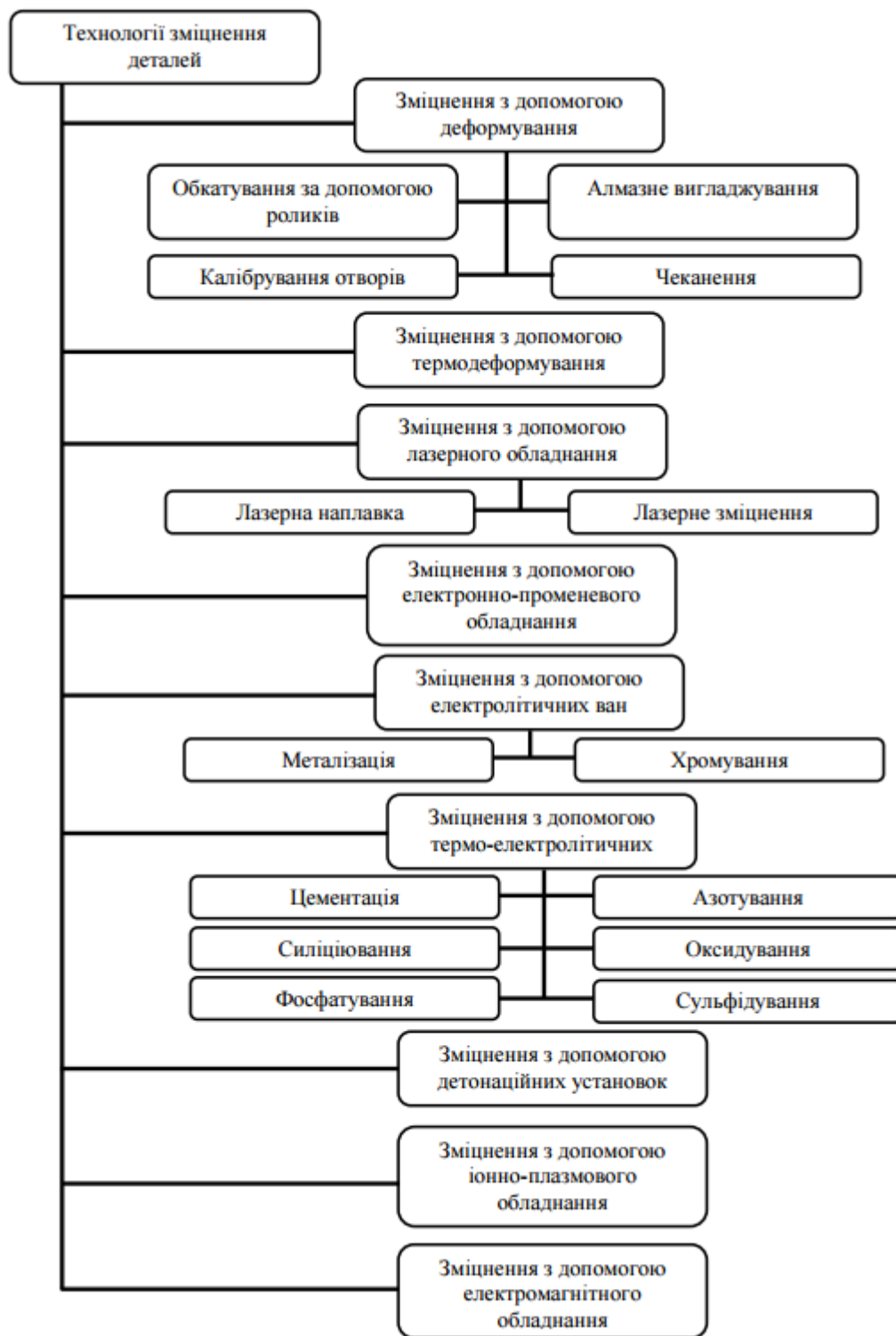


Рисунок 2.1 – Існуючі технології зміцнення деталей

## 2.2 Обґрунтування вибору наукової роботи



Рисунок 2.2 – Існуючі технології відновлення деталей

Існуючі технології виготовлення, а тим більше відновлення, не забезпечують потрібних фізико-механічних властивостей для посадкових місць під підшипники кочення. Твердість посадкових місць на валах при їх виготовленні зазвичай не перевищує HRC 58, тоді як твердість кілець підшипників кочення досягає HRC 60-62. При відновленні посадкових місць валів за допомогою зварювання, наплавлення, накатки або напилювання, твердість поверхонь залишається на рівні HRC 26-42.

Однією з деталей, яка часто зазнає зношування по посадковому місцю під підшипник кочення, є вторинний вал коробки передач (КПП) (рис. 2.3). Через зношування посадкового місця вала по діаметру 30k6, автомобіль зупиняють, а

КПП відправляють на ремонт. Висока твердість шийки вала (HRC 56-58), досягнута шляхом цементації або нітроцементації, ускладнює використання існуючих технологій відновлення, що призводить до вибракування і утилізації вала.



1 – посадкове місце під підшипник кочення

Рисунок 2.3 – Принципова схема зміцнюючого електромеханічного відновлення вторинного вала КПП

Електромеханічна обробка – це процес обробки поверхні деталей, який поєднує термічний і механічний вплив на поверхневий шар деталі, що піддається обробці. Такий підхід значно змінює фізико-механічні властивості поверхневого шару, підвищуючи його зносостійкість і мікротвердість [21]. Електромеханічне зміцнення має наступні характерні риси [22]:

1. Одночасний тепловий і механічний вплив на поверхню деталі, замість послідовного.
2. Нагрівання поверхневого шару відбувається з двох джерел: зовнішнього (тепло від тертя) та внутрішнього (тепло від проходження електричного струму).
3. Нагрівання й витримка тривають дуже короткий час, вимірюючись частками секунди, залежно від площі контакту і швидкості обкатки.
4. Висока швидкість охолодження зумовлена інтенсивним відведенням тепла від тонкого поверхневого шару всередину холодної деталі.
5. Поверхневий шар деталі піддається багаторазовому тепловому впливу залежно від кількості проходів.

Було проведено дослідно-експериментальні роботи з обґрунтування

методу зміцнювального електромеханічного відновлення посадкових місць (ПМ) валів під підшипники кочення (ПК) для вторинного вала КПП автомобілів. В умовах навчально-науково-виробничої лабораторії електромеханічної обробки було відновлено 5 валів. Після відновлення деталі були передані для проведення експлуатаційних випробувань. Зміцнення проводилось на посадковому місці вала під підшипник кочення діаметром 30k6 на токарно-гвинторізному верстаті 1B62Г із використанням установки електромеханічної обробки моделі "Еталон", телескопічної державки, інструментального ролика та двох мідних струмопроводів.

Таблиця 2.1 –Результати електромеханчної обробки

| № вала | Діаметр вала після зношування | Твердість до ЕМО HRC | Діаметр після ЕМО, мм | Діаметр після шліфування, мм | Твердість після ЕМО HRC |
|--------|-------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1      | 29,95                         | 56-58                | 30,13                 | 30,012                       | 63                      |
| 2      | 29,95                         | 55-61                | 30,08                 | 30,015                       | 62                      |
| 3      | 29,94                         | 52-55                | 30,11                 | 30,013                       | 62,7                    |
| 4      | 29,97                         | 53-57                | 30,15                 | 30,005                       | 63,2                    |
| 5      | 29,95                         | 50-53                | 30,18                 | 30,015                       | 63,9                    |

Експериментально встановлено, що зі збільшенням діаметра шийки вала після електромеханічної обробки (ЕМО) підвищується її твердість (рис. 2.4). Щоб досягти максимального діаметра після ЕМО, необхідно застосовувати найбільшу допустиму силу струму. Процес відновлення базується на електроконтактному нагріванні з подальшим швидким охолодженням шийки вала, яке здійснюється обкаткою інструментальним роликом. Електроконтактне нагрівання виконується за допомогою електричної енергії промислової частоти (50 Гц) при струмі у вторинному ланцюзі в межах 1400–1800 А і напрузі 2,5–3 В. За 8 місяців експлуатації експериментальних валів відмов КПП не було зафіксовано. КПП з експериментальними валами продовжують успішно експлуатуватися на автомобілях. Теоретичні та експериментальні дослідження, проведені в області ЕМО [21, 23], а також у сфері низькотемпературного поверхневого пластичного деформування [24], дозволили застосувати ці розробки при зміцнюючому електромеханічному

відновленні посадкових місць під підшипники кочення.

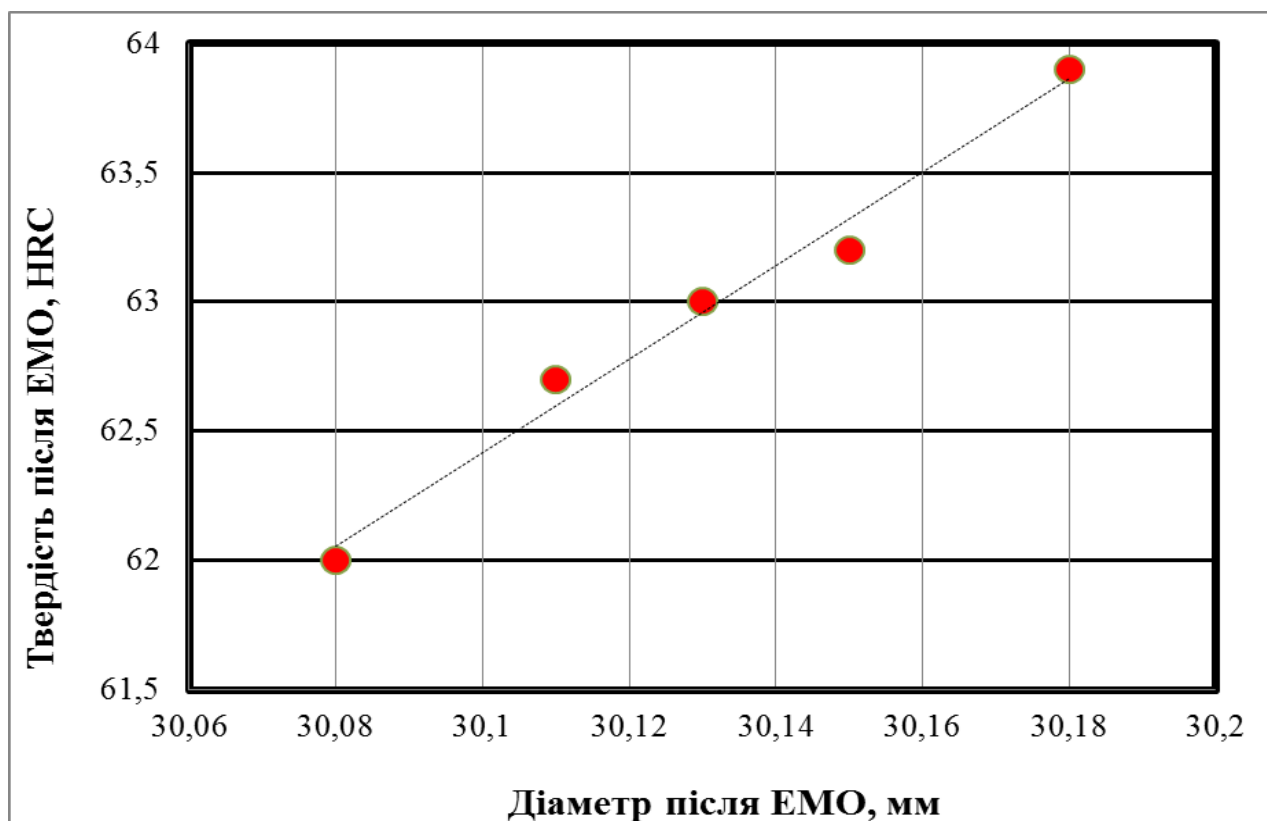


Рисунок 2.4 – Зміна розміру шийки валу після ЕМО в залежності від твердості після ЕМО

Дослідження фізичних і технологічних аспектів методів відновлення посадкових місць вала під підшипники кочення показало, що сучасні підходи не забезпечують достатньої міцності й зносостійкості, особливо для деталей із високою твердістю поверхні. Зміцнювальне електромеханічне відновлення дозволяє збільшити діаметр до 0,2 мм, підвищуючи при цьому показники зносостійкості й міцності деталей, одночасно зменшуючи трудомісткість у порівнянні з найбільш поширеними методами. Результати експлуатаційних випробувань деталей, які пройшли ЕМО, підтвердили високу ефективність цього підходу при низькій вартості виконання робіт.

### **3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА**

#### **3.1 Розробка організаційно-аналітичних рішень**

##### **3.1.1 Технічні умови на контроль-сорткування вала первинного й шестірні коробки передач автомобіля Зил-5301**

Для ремонту автомобільних деталей необхідно обладнати АТП відповідним устаткуванням. Основними дефектами деталей коробки передач автомобіля Зил-5301, зокрема первинного вала і шестірні, є знос або пошкодження поверхонь під підшипник і ущільнення, зношування або пошкодження шліців первинного вала, тріщини, вигини вала, поломка або сколи зубів шестірень, зношування або пошкодження різьбової та торцевих поверхонь шестірні, а також шпонкового паза і внутрішнього отвору шестірні.

Для виявлення та усунення дефектів проводять повне розбирання коробки передач. Під час ремонту зазвичай замінюють пошкоджені сальники та зношені підшипники. Шестірні замінюють у випадку значного зношування або поломки зубів. Найчастіше на первинному валі зустрічаються тріщини, що виникають з різних причин. Відновлення цих ділянок часто потребує індивідуального підходу, що в умовах підприємства є економічно не вигідним. Тріщини також можуть з'являтися на шліцевій частині, яку не завжди можливо відновити зварюванням. Ресурс валів зазвичай перевищує ресурс підшипників, що потребує їх демонтажу. Відновлення такого зношування може здійснюватися методом наплавлення з подальшим точінням і шліфуванням. Особливо відповідальною є шліцева частина, яка під час експлуатації піддається значним знакозмінним навантаженням. Відновлення цієї ділянки є однією з найважливіших частин технологічного процесу.

##### **3.1.2 Розробка технологічних маршрутів і оснащення операцій відновлення вала первинного й шестірні коробки передач автомобіля Зил-5301**

Маршрут відновлення первинного вала коробки передач:

1. Слюсарна обробка (005): Вирівняти вал на призмах до повного усунення погнутості.
2. Наплавка (010): Наплавити пошкоджену шліцеву поверхню до діаметра

Ø43 мм на довжині 105 мм.

3. Наплавка (015): Наплавити зношену поверхню під підшипник до Ø65 мм на довжині 40 мм.

4. Наплавка (020): Наплавити зношену поверхню під ущільнення до Ø47 мм на довжині 10 мм.

5. Напилювання (025): Напилити внутрішню зношену поверхню Ø49,17H8 до Ø46 мм на довжині 31 мм.

6. Токарська обробка (030): Обточити наплавлену поверхню Ø43 мм до Ø40 мм на довжині 105 мм, зняти фаску 5x450 згідно з ремонтним кресленням.

7. Токарська обробка (035): Обточити наплавлену поверхню під підшипник Ø65 мм до Ø62,3 мм на довжині  $40 \pm 0,3$  мм, залишивши припуск для шліфування.

8. Токарська обробка (040): Обточити наплавлену поверхню під ущільнення Ø47 мм до Ø45,3 мм на довжині 10 мм, залишивши припуск для шліфування.

9. Токарська обробка (045): Обточити проточку Ø54 мм на довжині 4 мм згідно з кресленням, забезпечивши параметр шорсткості  $Ra=3,2$  мкм.

10. Токарська обробка (050): Розточити напилену внутрішню поверхню Ø46 мм до Ø49 мм на довжині 31 мм, забезпечивши параметр шорсткості  $Ra=3,2$  мкм, залишивши припуск для шліфування.

11. Токарська обробка (055): Розточити проточку Ø54H8 мм на довжині 7 мм згідно з ремонтним кресленням.

12. Свердлильна обробка (060): Просвердлити два напилені отвори для подачі мастильного матеріалу Ø3 мм наскрізь.

13. Фрезерна обробка (065): Вирізати 12 шліців на довжині 85 мм згідно з ремонтним кресленням.

14. Шліфувальна обробка (070): Шліфувати наплавлену поверхню під підшипник Ø62,3 мм до Ø62 мм, забезпечивши параметр шорсткості  $Ra=0,8$  мкм.

15. Шліфувальна обробка (075): Шліфувати наплавлену поверхню під ущільнення Ø45,3 мм до Ø45 мм, забезпечивши параметр шорсткості  $Ra=1,25$  мкм.

16. Шліфувальна обробка (080): Шліфувати внутрішню поверхню Ø49 мм до Ø49,17 мм на довжині 24 мм, забезпечивши параметр шорсткості  $Ra=1,25$  мкм.

17. Контрольна обробка (085): Перевірити відповідність розмірів та якості відновлених поверхонь.

Маршрут відновлення шестірні коробки передач автомобіля ЗиЛ-5301:

1. Наплавка (005): Наплавити зношену внутрішню поверхню центрального отвору від Ø52,2 мм до Ø49 мм мінімум на довжині 52 мм.

2. Фрезерна обробка (010): Фрезерувати торці деталі для усунення дефектів.

3. Токарська обробка (015): Розточити наплавлену внутрішню поверхню Ø49 мм до Ø51,5 мм на довжині 52 мм, залишивши припуск для шліфування.

4. Токарська обробка (020): Вирізати дві фаски 4x45º згідно з ремонтним кресленням.

5. Протяжна обробка (025): Виконати протяжку шпонкового паза згідно з ремонтним кресленням.

6. Шліфувальна обробка (030): Шліфувати внутрішню поверхню до номінального розміру Ø52H7 на довжині 52 мм, забезпечивши параметр шорсткості Ra=1,6 мкм.

7. Контрольна обробка (035): Провести огляд відповідності розмірів та якості відновлених поверхонь.

Результати вибору устаткування, оснащення та інструментів підсумовано в таблицях 2.2 та 2.3 відповідних додатків.

### **3.1.3 Розрахунки операцій технологічного процесу відновлення вала первинного**

Розрахунки операції слюсарного виправлення вала первинного 005:

Під час виконання операції застосовуються гідравлічний прес моделі ПА-413, а також оправлення для виправлення деформацій і центрування вала. Виправлення проводиться шляхом додавання статичного навантаження в 3000 Н, з п'ятиразовим прогином вала в протилежний бік[8]. Для контролю залишкової деформації використовується індикатор годинникового типу ІЧ-2.

Розрахунки операції наплавлення зношеної поверхні під підшипник вала первинного 015:

Необхідність визначення коефіцієнта проплавлювання [8]

$$\psi = \frac{b}{h}, \quad (3.1)$$

де  $b$  – ширина ємності у якій проводиться зварювання;

$h$  – розмір заглиблення на поверхні, яку зварюють.

Вибираємо  $b = 3,2\text{мм}$ ,  $h = 2,5\text{мм}$ . У такому разі відповідний коефіцієнт буде визначатися:

$$\psi = \frac{3,2}{2,5} = 1,28.$$

Визначимо необхідну потужність струму:

$$I = \frac{h}{K}, \quad (3.2)$$

де  $K$  – значення пропорціональності, яка впливає на зварний процес  $K=1,3$ .

Згідно з [9], сила струму становить  $I = 200$  А. Напруга, що виникає, визначається за формулою:

$$U = 0,05 \frac{I}{d_e} + 20, \quad (3.3)$$

де  $d_e$  – розмір електрода дорівнює  $d_e = 1,6$  мм  $d = 1,6\text{мм}$ .

$$U = 0,05 \cdot \frac{200}{1,6} + 20 = 26,3 \text{ В}.$$

Визначимо швидкість наплавлення за наступною формулою [9]:

$$V_H = \frac{0,785 \cdot d_e^2 \cdot V_n}{0,5 \cdot h \cdot b} \cdot \eta, \quad (3.4)$$

де  $V_H$  – швидкість подавання зварного елемента,  $V_H = 1,16\text{м/хв}$ ;

$\eta$  – показник подачі зварного елемента на деталь,  $\eta = 1,0$ .

У цьому випадку наплавлення відбуватиметься за наступною швидкістю:

$$V_H = \frac{0,785 \cdot 1,6^2 \cdot 1,16}{0,5 \cdot 2,5 \cdot 3,2} \cdot 1 = 0,58 \text{ м/хв}.$$

Згідно за [10] при зварюванні деталі час визначатиметься:

$$t_0 = \frac{l}{4 \cdot S}, \quad (3.5)$$

де  $l$  – розмір поверхні, яку наплавлюємо. З урахуванням діаметра отвору, що зварюється, і його глибини,  $l = 40$  мм.

$$t_0 = \frac{40}{4 \cdot 1,33} = 7,5 \text{ хв}.$$

Час, необхідний для розбирання і складання деталі, згідно з [10], становить 4 хвилини  $t_{\text{Бу}} = 4\text{хв}$ . Час на переміщення до робочого місця або іншого необхідного положення – 0,5 хв  $t_{\text{ВП}} = 0,5\text{хв}$ . Час для догляду за робочим місцем складає 0,5 хв  $t_{\text{ОРМ}} = 0,5\text{хв}$  за [10]. Час на підготовчо-заклучні операції — 8 хв

$t_{ПЗ} = 8\text{хв.}$  Кількість деталей, яку необхідно виготовити в рамках цього процесу, становить 20 штук  $z = 20$  шт. Тепер можна обчислити штучно-калькуляційний час  $t_{ш.к.}$ .

$$t_{ш.к.} = 7,5 + 4 + 0,5 + 0,5 + \frac{8}{20} = 12,9\text{хв.}$$

Розрахунки режимів газодинамічного напилювання зношеної внутрішньої поверхні вала первинного. Операція 025:

Для виконання технологічної операції напилення, маємо наступні параметри:

- Необхідний тиск повітря: 0,6 МПа.
- Витрата повітря: 0,4 м<sup>3</sup>/хв.
- Відстань до поверхні напилення: 80-100 мм.
- Фракція порошкового матеріалу: 40 мкм.
- Тип порошку: С-01-11, який слугує для вирівнювання дефектів деталі та відновлення посадкових місць [8].
- Напруга мережі: 220 В.
- Потужність для напилення: 3,6 кВт.
- Виробнича потужність покриття:  $v=3$  см<sup>3</sup>/хв [9].
- Необхідний діаметр отвору після обробки: Ø 46 мм.
- Вихідний діаметр отвору: Ø 49,5 мм.
- Подача вздовж осі:  $S=50$  мм/хв.
- Необхідна товщина шару:  $t=0,85$  мм

Визначимо потрібну кількість:

$$V_m = \frac{\pi \cdot h \cdot (R_1^2 - R_2^2)}{1000}, \quad (3.6)$$

де  $R_1$ ,  $R_2$  – радіуси отвору, відповідно до напилювання й післянапилювання.

$h$  – глибина отвору,  $h = 31$  мм;

$$V_i = \frac{3,14 \cdot 31 \cdot (24,75^2 - 23^2)}{1000} = 8,18 \text{ см}^3.$$

Кількість проходів по формулі:

$$i = \frac{R_1 - R_2}{t}, \quad (3.7)$$

$$i = \frac{24,75-23}{0,85} = 2.$$

При зварюванні деталі час виконання операції визначається:

$$T_0 = \frac{V_M}{\Pi_V}, \quad (3.8)$$

$$T_0 = \frac{8,18}{3} = 2,73 \text{ хв.}$$

Технічна норма часу визначається, хв [10]:

$$t_{\text{ш.к.}} = t_0 + t_{\text{в.у.}} + t_{\text{орм}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{Z}, \quad (3.9)$$

Для розрахунку штучно-калькуляційного часу  $t_{\text{ш.к.}}$  на виконання операції скористаємось наданими даними відповідно до [10]:

- Час на знімання і установлення деталей:  $t_{\text{в.у.}} = 2$  хв.
- Час на перехід:  $t_{\text{в.п.}} = 0$  хв.
- Час для догляду за робочим місцем:  $t_{\text{орм}} = 0,15$  хв.
- Час на підготовчо-заклучні операції:  $t_{\text{п.з.}} = 8$  хв.
- Кількість деталей у партії:  $Z = 20$  шт.

$$t_{\text{ш.к.}} = 2,73 + 2 + 0 + 0,15 + \frac{8}{20} = 5,28 \text{ хв.}$$

Розрахунки операції шліфувальної поверхні під підшипник первинного вала 070:

Поперечна подача  $S=0,03$  мм/об, згідно [8].

Поздовжня подача за один оберт оброблюваної деталі, мм/об

$$S = \beta \cdot B, \quad (3.10)$$

де  $B$  – ширина шліфувального кола, мм. Приймаємо  $B=64$  мм.

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує ширину шліфувального кола. Згідно [8]  $\beta = 0,2$ .

За формулою  $S=12,8$  мм/об.

Швидкість різання, м/хв [9]

$$V_d = \frac{C_V \cdot d^k}{T^m \cdot t^{x_V} \cdot \beta^{y_V}}, \quad (3.11)$$

де  $C_V$  – постійна, яка залежить від матеріалу оброблюваної деталі, характеристики кола й виду шліфування. Згідно [8]  $C_V = 0,24$ .

$d$  – діаметр оброблюваної деталі, мм,  $d=62$  мм.

$T$  – стійкість шліфувального кола, хв. Згідно [8]  $T=7,5$  хв.

$t$  – глибина шліфування, мм. Приймаємо  $t=0,03$  мм.

$\beta$  – коефіцієнт поздовжньої подачі. Згідно [8]  $\beta=0,2$ .

$K, m, x, y$  – показники ступеня.

Враховуючи [8] приймаємо  $K=0,3$ ;  $m=0,5$ ;  $x=1,0$ ;  $y=1,0$ .

За формулою:

$$V_a = \frac{0,24 \cdot 62^{0,3}}{7,5^{0,5} \cdot 0,03^1 \cdot 0,2^1} = 50,4 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання деталі [9]:

$$n = \frac{1000 \cdot v_d}{\pi \cdot d}, \quad (3.12)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 50,4}{3,14 \cdot 62} = 258,9 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаю  $n_\phi = 300 \text{ хв}^{-1}$ .

Отже фактична швидкість різання [9]:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}, \quad (3.13)$$

Тоді  $V_\phi = 58,4 \text{ м/хв.}$

Ефективна потужність шліфування обчислюється [9]:

$$N = C_N \cdot v_d^r \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q, \quad (3.14)$$

де  $C_N, r, x, y, q$  – коефіцієнт і показники ступені,  $C_N = 1,3$ ;  $r = 0,5$ ;  $x = 0,85$ ;  $y = 0,55$ ;  $q = 0$ .

$$N = 1,3 \cdot 58,4^{0,5} \cdot 0,03^{0,85} \cdot 12,8^{0,55} \cdot 62^0 = 2,02 \text{ кВт.}$$

Визначення припустимої потужності на шпинделі, кВт:

$$N_{\text{ш}} = N_e \cdot \eta, \quad (3.15)$$

де  $\eta = 0,9$  – ККД верстата по приводу

$N_e$  – потужність електродвигуна верстата, кВт,  $N_e = 5$  кВт.

$$N_{\text{ш}} = 5 \cdot 0,9 = 4,5 \text{ кВт.}$$

Процес різання на цьому верстаті можливий.

Технічна норма часу [10]:

$$t_{\text{ш.к.}} = t_0 + t_{\text{в.у.}} + t_{\text{в.п.}} + t_{\text{орм}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{Z}, \quad (3.16)$$

$$t_0 = \frac{2 \cdot L}{n_d \cdot S} \cdot i_K, \quad (3.17)$$

де  $L$  – довжина ходу стола або шліфувального кола, мм,  $L = 136$  мм.

$n_d$  – кількість обертів оброблюваної деталі,  $n_d = 300 \text{ хв}^{-1}$ .

$S$  – поздовжня подача, мм/об,  $S = 12,8$  мм/об.

$i$  – число проходів. Враховуючи [9]:

$$i = \frac{h}{t}, \quad (3.18)$$

де  $h$  – припуск на обробку на одну сторону, мм.  $h = 15$  мм.

$t$  – поперечна подача,  $t = 0,03$  мм/об

За формулою  $i = 5$ .

$K$  – коефіцієнт, який залежить від точності шліфування. Враховуючи [6] приймаю

$K = 1,5$ .

Згідно з формулою:

$$t_0 = \frac{2 \cdot 40}{300 \cdot 12,8} \cdot 5 = 0,1 \text{ хв.}$$

Згідно з [10] приймаю:  $t_{\text{в.у.}} = 1,8$  хв.  $t_{\text{орм}} = 1,09$  хв.  $t_{\text{в.п.}} = 0,42$  хв.  $t_{\text{п.з.}} = 7$  хв.  $Z$  – кількість деталей у партії, шт, Приймаю  $Z = 20$  шт.

За формулою:

$$t_{\text{ш.к.}} = 0,1 + 1,8 + 0,42 + 1,09 + \frac{7}{20} = 3,76 \text{ хв.}$$

### **3.1.4 Розрахунки операцій технологічного процесу відновлення шестірні**

Розрахунки операції наплавлення внутрішньої зношеної поверхні шестірні 005:

Необхідність визначення коефіцієнта проплавлення [9]

$$\psi = \frac{b}{h}, \quad (3.19)$$

$b$  – ширина ємності у якій проводиться зварювання;

$h$  – розмір заглиблення на поверхні, яку зварюють.

Вибираємо  $b = 4$  мм,  $h = 2,5$  мм. В такому разі даний коефіцієнт дорівнюватиме

$$\psi = \frac{4}{2,5} = 1,6.$$

Отримані шви мають підвищену стійкість проти тріщин і характеризуються досить плавним переходом від металу шва до основного металу.

Електричні параметри режиму зварювання призначаються для оптимальних значень розглянутих величин. Визначаємо необхідну потужність струму

$$I = \frac{h}{K}, \quad (3.20)$$

де  $K$  – значення пропорційності, яка впливає на зварний процес  $K=1,3$ .

Згідно [9] потужність струму  $I = 200 \text{ A}$

Напруга, яка виникає обчислюється за формулою

$$U = 0,05 \frac{I}{d_e} + 20, \quad (3.21)$$

$d_e$  – розмір електрода дорівнює  $d_e=1,6 \text{ мм}$ .

$$U = 0,05 \frac{200}{1,6} + 20 = 26,3 \text{ В}.$$

Визначимо швидкість наплавки за наступною формулою [9]

$$V_n = \frac{0,785 \cdot d_e^2 \cdot V_n \cdot \eta}{0,5 \cdot h \cdot b}, \quad (3.22)$$

де  $V_n$  – швидкість подавання зварного елемента,  $V_n=1,16 \text{ м/хв}$ ;

$\eta$  – показник подачі зварного елемента на деталь,  $\eta=1,0$ .

В даному випадку наплавлення відбуватиметься з наступною швидкістю

$$V_i = \frac{0,785 \cdot 1,6^2 \cdot 1,16}{0,5 \cdot 2,5 \cdot 4} \cdot 1 = 0,47 \text{ м/хв}.$$

Частота обертання деталі, що наплавляємо [9]

$$n = \frac{1000 \cdot V_n}{\pi \cdot D}. \quad (3.23)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 0,47}{3,14 \cdot 49} = 3,1 \text{ хв}^{-1}.$$

Крок наплавлення з урахуванням перекриття витків [9]

$$S = \frac{b}{3}, \quad (3.24)$$

$$S = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ мм/об.}$$

Відповідно до [10] при зварювання деталі час визначатиметься

$$t_0 = \frac{l}{n \cdot S}, \quad (3.25)$$

де  $l$  – довжина поверхні, яку наплавляємо,  $l = 52$  мм.

$$t_0 = \frac{52}{4 \cdot 1,33} = 9,8 \text{ хв.}$$

Для розрахунку загального часу на виконання розбирально-збиральної операції, використаємо такі компоненти: Час, необхідний для виконання самої розбирально-збиральної операції  $t_{в.у.} = 4$  хв. Час на перехід між операціями  $t_{в.п.} = 0$  хв. Час на обслуговування робочого місця  $t_{орм} = 0,5$  хв. Час на підготовку та завершення роботи  $t_{п.з.} = 8$  хв. Кількість деталей у партії приймаємо  $Z=20$  шт.

Визначаємо штучно-калькуляційний час  $t_{ш.к.}$

$$t_{ш.к.} = 9,8 + 0 + 4 + 0,5 + \frac{8}{20} = 14,7 \text{ хв.}$$

Розрахунки операції фрезерування торцевих площин шестірні до усунення дефектів 010:

Параметри для виконання даної операції, глибина  $t = 0,1$  мм, ширина –  $B = 76$  мм.

Для виконання операції застосовують фрезу. У той жк час заготовку закріплюють у спец. приспособленні деталь кріпиться в спеціальному пристосуванні. Обераємо фрезу  $D = 70$  мм,  $z = 20$  шт [4].

Розрізняють наступні види подач: однохвилинна  $s_m$ , один оберт  $s_n$ , на один зуб  $s_z$  [9]

$$S_m = S_n \cdot n = S_z \cdot Z \cdot n, \quad (3.26)$$

де  $n$  – швидкість обертання інструмента;

$Z$  – число зубів фрези.

Рекомендована подача на один зуб  $s_z = 0,05$  мм [8].

Визначення швидкості обробки заготовки  $v$ , м/хв [9]

$$v = \frac{c_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot k_v, \quad (3.27)$$

$c_v$  – величина, яка описує склад деталі і інструменту;

$D$  – діаметр інструмента  $D = 70$  мм;

$T$  – тривалість роботи інструмента,  $T = 180$  хв [8];

$s_z$  – подача на зуб  $s_z = 0,05$  мм/зуб [8];

$B$  – розмір поверхні, що обробляється по ширині,  $B = 76$  мм;

$Z$  – кількість зубів інструмента,  $Z = 20$ ;

$k_v$  – коректувальний коефіцієнт на зміни умови обробки;

$q, m, x, y, u, p$  – величини, які змінюються в залежності від умов оброблювання.

Показники  $c_v, q, m, x, y, u, p$  із таблиці [8]:  $c_v = 49,5$ ;  $q = 0,45$ ;  $m = 0,33$ ;  $x = 0,3$ ;  $y = 0,4$ ;  $u = 0,1$ ;  $p = 0,1$ .

Коректувальний коефіцієнт швидкості різання, який ураховує при яких відбувається обробка [9]

$$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv}, \quad (3.28)$$

де  $k_{mv}$  – коефіцієнт, який ураховує якість матеріалу, що обробляється;

$k_{nv}$  – коефіцієнт, який ураховує дію поверхні заготовки на швидкість різання;

$k_{uv}$  – коректувальний коефіцієнт, який включає вплив інструментального матеріалу ( $k_{uv} = 0,9$  [8]).

Коефіцієнт, який включає якість матеріалу, який обробляється  $k_{mv}$

$$k_{mv} = k_r \cdot \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}, \quad (3.29)$$

$k_r$  – коефіцієнт для матеріалу інструмента  $k_r=1$ [8];

$n_v$  – величина, що характеризує рівень обробки  $n_v = 0,9$ [8].

$$k_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{800}\right)^{0,9} = 0,94;$$

$$k_v = 0,94 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,68;$$

$$v = \frac{49,5 \cdot 70^{0,45}}{180^{0,33} \cdot 0,1^{0,3} \cdot 0,05^{0,4} \cdot 76^{0,1} \cdot 20^{0,1}} \cdot 0,68 = 104,9 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо кругову сил  $P_z, H$  [9]

$$P_z = \frac{10 \cdot c_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp}, \quad (3.30)$$

де  $n$  – частота обертання фрези,  $\text{хв}^{-1}$ .

Значення коефіцієнта  $c_p$  та показників ступенів перебувають по таблиці [8], коректувальний коефіцієнт впливу на якість матеріалу, який обробляється  $k_{mp}$  – вилічини, які беруть участь при різанні, а саме горизонтальної  $P_h$ , вертикальної  $P_v$ , радіальної  $P_y$ , осьовий  $P_x$  [8] отримаємо  $c_p = 68,2$ ;  $x = 0,86$ ;  $y = 0,76$ ;  $u = 1,0$ ;  $q = 0,86$ ;  $v = 0$ .

Показник ступеня  $n = 0,3$  [8].

Коефіцієнт, який ураховує якість матеріалу, що обробляється  $k_{mp}$  [9]

$$k_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{n_v}; \quad (3.31)$$

$$k_{ip} = \left(\frac{800}{750}\right)^{0,3v} \approx 1,02.$$

Швидкість обертів інструмента обертання фрези  $n$  [9]

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}; \quad (3.32)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 104,9}{3,14 \cdot 70} = 477,3 \text{ хв}^{-1}.$$

За даними технологічного обладнання  $n_{\phi} = 600 \text{ хв}^{-1}$ . Отже фактична швидкість різання[9]:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000}; \quad (3.33)$$

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 600}{1000} = 131,9 \text{ м/хв};$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 0,1^{0,86} \cdot 0,05^{0,72} \cdot 76^{0,3} \cdot 20}{70^{0,86} \cdot 600^0} \cdot 1,02 = 20,94 \text{ Н}.$$

Визначаємо крутильний момент  $M_{кр}$  [9]

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}; \quad (3.34)$$

$$M_{кр} = \frac{20,94 \cdot 70}{2 \cdot 100} = 7,3 \text{ Нм}.$$

Визначаємо силу при різанні  $N_e$ , кВт [9]

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}; \quad (3.35)$$

$$N_e = \frac{20,94 \cdot 131,9}{1020 \cdot 60} = 0,05 \text{ кВт}.$$

Штучно калькуляційний час, хв [10]

$$t_{ш.к.} = t_0 + t_{B.Y.} + t_{орм} + \frac{T_{п.з.}}{Z}, \quad (3.36)$$

Час для виконання маршрутного завдання  $t_0$ , хв, необхідне для обробки площини деталі  $t_0$ , хв, розраховується по наступній формулі

$$t_0 = \frac{L}{S_{\text{м}}}, \quad (3.37)$$

де  $L$  – параметри місця оброблювання деталі;

$s_m$  – подача інструмента тривалістю хвилини, мм/хв.

Визначаємо параметри деталі, яка обробляється

$$L = l + y, \quad (3.38)$$

де  $l$  – параметри деталі площини, яка обробляється;

$y$  – розміри фрези для виконання операції

$$y = y_1 + y_2, \quad (3.39)$$

де  $y_1$  – параметри на яку глибину врізається інструмент

$y_2$  – параметри при яких інструмент виходить

$$y_1 = \sqrt{D \cdot t - t^2}; \quad (3.40)$$

$$y_1 = \sqrt{70 \cdot 0,1 - 0,1^2} = 2,64 \text{ мм};$$

$$y_2 = 0,05 \cdot D = 0,05 \cdot 70 = 3,5 \text{ мм};$$

$$y = 2,64 + 3,5 = 6,14 \text{ мм}.$$

Хвилинна подача  $S_m$  визначається зі співвідношення [9]

$$s_i = s_z \cdot z \cdot n; \quad (3.41)$$

$$s_m = 0,05 \cdot 20 \cdot 600 = 600 \text{ мм/хв};$$

$$L = 76 + 6,14 = 82,14 \text{ мм};$$

$$t = \frac{82,14}{600} = 0,14 \text{ хв}.$$

Додатковий час, який необхідний для виконання знімально-установчих дій із деталлю відповідно до [10],  $t_{\text{BV}} = 2,7$  хв. Час який необхідний для переходу відповідно до [10]  $t_{\text{ВП}} = 0,47$  хв. Час необхідний для догляду за місцем робочим

відповідно до [10]  $t_{\text{ОПМ}} = 0,2$  хв. Час необхідний для підготовки і завершення роботи відповідно до [10]  $t_{\text{ПЗ}} = 9$  хв.

Вибираємо необхідне число деталей,  $z = 20$  шт.

Знаходимо час  $t_{\text{Ш.К.}}$ .

$$t_{\text{Ш.К.}} = 0,14 + 2,7 + 0,47 + 0,2 + \frac{9}{20} = 3,96 \text{ хв.}$$

Протягання шпонкового паза шестірні 025:

Група швидкості різання при обробці сталі – 2. Нормативна швидкість різання  $V=4,0$  м/хв, яка лежить у межах параметрів обраного верстата (1,5 – 9,5 м/хв) [8].

Силу різання при протяганні визначаємо по формулі [9]

$$P_z = p \cdot \Sigma b, \quad (3.42)$$

де  $p$  – сила різання на 1 мм довжини леза;

$\Sigma b$  – найбільша сумарна довжина лез усіх одночасно ріжучих зубів [9]

$$\Sigma b = \frac{b}{z_c} \cdot z_l, \quad (3.43)$$

де  $b$  – периметр різання,  $b = 114$  мм;

$z_c$  – число зубів у секції, для протягань із профільною схемою різання  $z_c=1$ ;

$z_l$  – найбільше число одночасне ріжучих зубів, обумовлене з вираження [9]

$$z_l = \frac{L}{S}, \quad (3.44)$$

де  $L$  – довжина поверхні, що простягається,  $L = 52$  мм;

$S$  – крок ріжучих зубів,  $S = 5$  мм.

$$z_1 = \frac{50}{5} = 10,$$

Тоді

$$\sum b = \frac{114}{1} \cdot 10 = 1140 \text{ мм.}$$

При подачі на 1 зуб  $S_z=0,08$ , сила різання  $P=10$  Н. Визначаємо силу різання при протяганні

$$P_z = 10 \cdot 1140 = 11,4 \text{ кН.}$$

Швидкість різання, що допускається потужністю двигуна верстата [9]

$$V_{cm} = 6120 \cdot \frac{N}{P_z} \cdot \eta ; \quad (3.45)$$

$$V_{cm} = 6120 \cdot \frac{22}{11400} \cdot 0,8 = 9,4 \text{ м/хв.}$$

Тому що  $V_{cm} < V$ , те процес різання можливий.

Визначаємо необхідний час [10]

$$t_{ш.к.} = t_0 + t_{B.V.} + t_{орм} + \frac{T_{п.з.}}{Z}, \quad (3.46)$$

де  $t_0$  – час для виконання основного виду роботи.

Шар металу, що знімається при протяганні 4,2 мм.

Тоді необхідна кількість ріжучих зубів  $4,2/0,08=53$ .

З урахуванням відстані між зубами 5 мм, довжина протягання складе  $53 \cdot 5=265$  мм. Тоді хід протягання  $l=265+50=315$  мм.

Згідно [10]

$$t_0 = \frac{l}{V \cdot 1000}, \quad (3.47)$$

де  $l$  – хід протягання.

$$t_0 = \frac{315}{9,4 \cdot 1000} = 0,03 \text{ хв.}$$

Додатковий час, який необхідний для виконання знімально-установчих дій із деталлю відповідно до [10],  $t_{\text{вн}} = 1,62$  хв. Час який необхідний для переходу відповідно до [10]  $t_{\text{вп}} = 0,8$  хв. Час необхідний для догляду за місцем робочим відповідно до [10]  $t_{\text{орм}} = 0,15$  хв. Час необхідний для підготовки і завершення роботі відповідно до [10]  $t_{\text{пз}} = 8$  хв.

Вибираємо необхідне число деталей,  $z = 20$  шт.

Знаходимо час  $t_{\text{ш.к.}}$ .

$$t_{\text{ш.к.}} = 0,03 + 1,62 + 0,8 + 0,15 + \frac{8}{20} = 3 \text{ хв.}$$

### 3.1.5 Проектування дільниці ремонтного цеху

Кількість ремонтів за рік первинних валів і шестірень коробки передач автомобіля Зил-5301 оприділяємо в залежності від запланованих обсягів робіт.

Проаналізувавши необхідну кількість робіт яку необхідно виконати пов'язаних із деталями трансмісії автомобіля Зил-5301 яка складає  $N_r = 1500$  процесів відновлення первинних валів і шестірень. Коефіцієнт деталей які ремонтуються  $K_p = 0,9$ .

Одже, кількість ремонтів які відбудуться за рік визначаємо [13]

$$N_r = N_r^3 \cdot K_p = 1500 \cdot 0,9 = 1350 \text{ шт} \quad (3.48)$$

Із вихідних даних проводимо розрахунок планової річної роботи і необхідної кількості деталей.

Необхідно визначити потрібну кількість відремонтованих деталей а також порахуємо кількість деталей яку потрібно на один місяць [13]

$$X = \frac{N_r^3 \cdot K_p \cdot n}{12}. \quad (3.49)$$

Оприділяємо потребу у відновлених деталях на день

$$X_c = \frac{N_r^3 \cdot K_p \cdot n}{D_{p.p.}}, \quad (3.50)$$

де  $n$  – кількість подібних запчастин;

$D_{p.p.}$  – усі робочі дні із цілого року,  $D_{p.p.} = 253$  дня.

Отримуємо

$$X = \frac{1500 \cdot 0,9 \cdot 1}{12} = 112 \text{ шт};$$

$$X_c = \frac{1500 \cdot 0,9 \cdot 1}{253} = 5 \text{ шт}.$$

Визначаємо необхідну кількість деталей яка потрібна на один день  
 $X_c = 10$  шт.

Визначаємо необхідну річну кількість відновлюваних робіт, первинного вала й шестірні коробки передач автомобіля Зил-5301. Отримуємо

$$T_r = \sum T_{шт} \cdot N_r, \quad (3.51)$$

де  $\sum T_{шт}$  – розрахункова трудомісткість на відновлення однієї деталі люд.·год.

Для вала первинного  $T_{шт} = 2,01$  люд.·год., для шестерни  $T_{шт} = 0,62$  люд.·год. У даному випадку для валу первичного

$$T_r = 2,01 \cdot 1350 = 2714 \text{ люд.·год.}$$

для шестірні:

$$T_r = 0,62 \cdot 1350 = 837 \text{ люд.} \cdot \text{год.}$$

Трудомісткість відновлення вала первинного й шестірні коробки передач автомобіля ЗиЛ-5301 по видах робіт зведено в таблицю 4.3. Додаток 1

Розрахунки необхідної кількості устаткування:

Визначаємо необхідну кількість пристосування та обладнання [13]

$$X = \frac{T^r}{T_{\phi.o.}}, \quad (3.52)$$

де  $X$  – необхідне число обладнання, шт;

$T^r$  – необхідна кількість процесів, люд.·год.;

$T_{\phi.o.}$  – дійсний річний фонд часу устаткування, год.

Розрахунки потрібноого забезпечення діляниць працівниками

Визначаємо необхідне забезпечення працівників по наступних формулах [13]

$$X_{\text{сп.}} = \frac{T_r}{T_{\phi.o.}}; \quad X_{\text{яв.}} = \frac{T_r}{T_{\phi.n.}}, \quad (3.53)$$

де  $T_r$  – кількість процесів, які необхідно виконати на протязі року люд.·год.

$T_{op}$  – необхідна кількість годин роботи процівників, год;

$T_{mp}$  – необхідна кількість часу роботи, год;

$$T_{op.} = 1840 \text{ год}$$

$$T_{mp.} = 2030 \text{ год.}$$

Необхідна кількість працівників записано у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункова кількість допоміжних, ІТП, СКП, МОП від кількості виробничих робітників

| Категорія працюючих | Відносини до виробничих робітників, % | Кількість працюючих |          |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------|----------|
|                     |                                       | Розрахункове        | Прийняте |
| Виробничі робітники | -                                     | 1,93                | 3        |
| Допоміжні робітники | 12-15                                 | 0,45                | 1        |
| ІТП                 | 13-15                                 | 0,45                | 1        |
| СКП                 | 12-14                                 | 0,42                | 1        |
| МОП                 | 2-3                                   | 0,1                 | 1        |
| Разом               |                                       |                     | 7        |

### 3.2 Розробка конструкторських рішень

#### 3.2.1 Використання приспосіблень в умовах АТП

На АТП приймаються рішення для вдосконалення пристосувань, проводяться перерахунки нових технологічних процесів. Витрати на створення, придбання та експлуатацію різного технологічного обладнання, а також собівартість і строки підготовки виробництва значною мірою залежать від обсягу витрат праці й часу, необхідних для проектування та виготовлення технологічного оснащення[8].

Останнім часом значно зріс рівень механізації та автоматизації пристосувань. Було також проведено суттєву роботу зі стандартизації деталей, вузлів і окремих конструкцій. Широка механізація та автоматизація пристосувань у дрібносерійному виробництві стала можливою завдяки впровадженню двох сучасних підходів до їх конструкції:

- Розробка переналагоджуваних (групових, універсальних) пристосувань з індивідуальною механізованою працею;
- Створення універсальних силових приводів для послідовного обслуговування ряду спеціалізованих пристосувань.

#### 3.2.2 Приспосіблення для базування шестірні і принцип дії

Пристосування використовується під час фрезерування площини шестірні і призначене для базування деталі (рис. 3.1), а також для її фіксації за допомогою сили  $W$ .

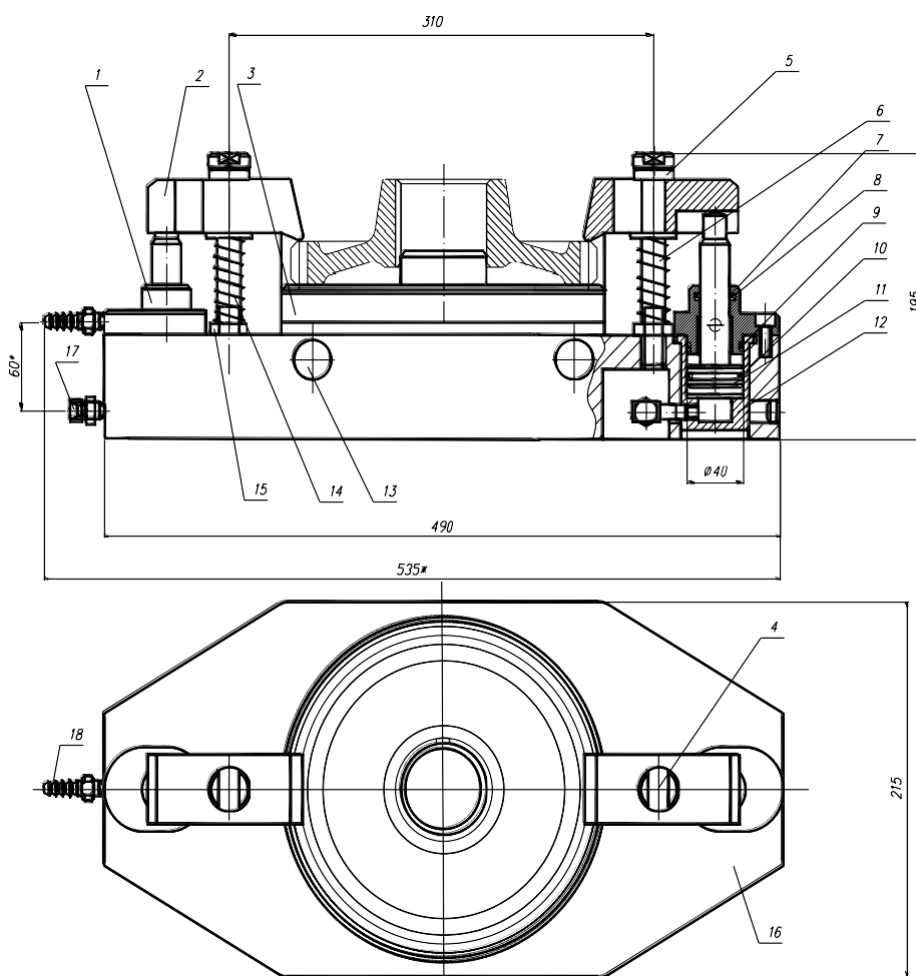


Рисунок 3.1 – Пристосування для базування колеса зубчастого  
У пристосуванні (рис. 3.1) деталь встановлюється базовою поверхнею на опорні стійки 3. Затиск виконується одночасно прихватами 2 за допомогою гідроприводу, а розкріплення здійснюється у зворотній послідовності.

### 3.2.3 Розрахунки пристосіблення на міцність

Для проведення розрахунку пристосіблення на міцність необхідно зробити це через два основні вираження [8, 9]:

розрахунок зусилля

$$k \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{акт}} = \sum_{i=1}^m P_{\text{прот}}; \quad (3.54)$$

Розрахунок через обертову силу

$$k \cdot \sum_{i=1}^n M_{\text{акт}_i} = \sum_{i=1}^m M_{\text{прот}_j}, \quad (3.55)$$

де  $k$  – значення запасу сили затискачів;

$P_{\text{акт}_i}, M_{\text{акт}_i}$  – зусилля й обертова сила.

Показник залишкової сили затиснення

$$k = k_0 \cdot \sum_{i=1}^6 k_i, \quad (3.56)$$

де  $k_0 = 1,5$  – показник сили, яка виникає при затисканні затискачів;

$k_1$  – коефіцієнт, який залежний від відповідності поверхні заготовки обліком припусків на виконання обробних операцій  $k_1 = 1,0$ ,  $k_1 = 1,2$

$k_2$  – показник, який урахує перепади сили під час виконання операції, що пов'язано із погіршенням якості інструмента збільшення сили різання внаслідок затуплення інструмента ( $k_2 = 1,0-1,7$ );

$k_3$  – показник, який застосовують для урахує перепадів сили ( $k_3 = 1,0$ ,  $k_3 = 1,2$ );

$k_4$  – показник, що враховує дії сили затискача  $k_4 = 1,0$ ;

$k_5$  – місця дотику розміщені контакту розміщені рівномірно  $k_5 = 1$ ;

$k_6$  – показник що урахує види привода устаткування  $k_6 = 1$ ,  $k_6 = 1,2$ .

Згідно вихідних даних умов ухвалюються коефіцієнти.

Тоді

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 3,5.$$

У пристосуванні із силовим механізмом 2 типу не виникає перерозподілу реакцій на опорних і затискних елементах,  $M = 7,3 \text{ Нм}$ .

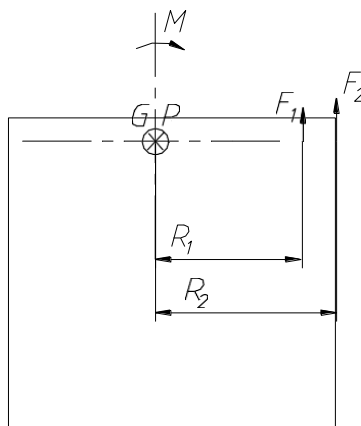


Рисунок 3.2 – Схема сил, що діють на шестірню під час фрезерування площини.

Напишемо рівняння рівноваги для знаходження необхідної сили затискача деталі без обліку її ваги [8, 9]

$$kM = W \cdot f \cdot R_2 + W \cdot f \cdot R_1; \quad (3.57)$$

$$W = \frac{kM}{f \cdot (R_2 + R_1)},$$

де  $M$  – момент різання, що впливає шестірню при фрезеруванні площини;

$R_1, R_2$  – радіуси тертя;

$f$  – коефіцієнт тертя.

Підставивши в залежності (3.4) числові значення вхідних у неї величин, розрахуємо необхідну силу затискача деталі в пристосуванні. При  $f = f_1 = f_2 = 0,16$ . Необхідна сила затискачів  $W$  рівна

$$W = \frac{3,5 \cdot 7,3}{0,16 \cdot (0,08 + 0,085)} = 968 \text{ Н.}$$

Приймаємо силу затискачів деталі в пристосуванні  $W = 1000 \text{ Н}$  для подальших розрахунків.

### **3.2.4 Визначення основних характеристик силового механізму пристосування**

По класифікації силові механізми пристосувань діляться на прості й комбіновані.

Простий механізм характеризується передатним відношенням сил, передатним відношенням переміщень, коефіцієнтом корисної дії, запасом самогальмування й запасом ходу.

Передатне відношення сил спроектованого пристосування складе

$$i = \frac{W}{Q} \geq 1, \quad (3.58)$$

де  $Q$  – сила, яка прикладається на провідному елементі механізму.

У спроектованому пристосуванні передатне відношення сил  $i = 1$ .

### **3.2.5 Конструювання й розрахунки пристосування**

Тиск робочої рідини в приводі приймаємо рівним.

Діаметр гідроциліндра визначається рівнянням

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot P \cdot \eta, \quad (3.59)$$

де  $P$  – початковий тиск,  $P = 6,3$  МПа

$\eta$  – ККД пристосування,  $\eta = 0,9$ ;

$$D = \sqrt{4W/\pi \cdot P \cdot \eta},$$

$$D = \sqrt{4 \cdot 1000/3,14 \cdot 10^6 \cdot 0,9} = 14,9 \text{ мм.}$$

Визначаємо, що розбір пристосування  $D = 32$  мм для забезпечення універсальності даного пристосування.

Проведемо розрахунок часу надійності пристосування:

$$t = \frac{SQ}{V_P} \cdot \left(\frac{D}{d_0}\right)^2, \quad (3.60)$$

Параметри пристосування

$$d_0 = \sqrt{\frac{21,22 \cdot Q_H}{V_P}}, \quad (3.61)$$

де  $V_P = 3,5$  м/с – швидкість проходження матеріалу по робочих елементах;

$Q_H = 0,005$  дм<sup>3</sup>/с – ефективність роботи пристосування.

$$t = \frac{0,016}{3,5} \cdot \left(\frac{32}{3}\right)^2 = 0,52 \text{ с.}$$

Проведемо розрахунок елементів пристосування на міцність

$$\sigma = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d^2} \leq [\sigma_p], \quad (3.62)$$

$$\sigma = 4 \cdot 1000/3,14 \cdot 16^2 = 4,9 \text{ МПа} \leq [\sigma_p],$$

Визначаємо величину місця контакту інструмента поверхні

де  $d = 16$  мм – діаметр різьби;

$k_1 = 0,87$  – коефіцієнт повноти різьблення для трикутного профіля;

$k_m = 0,65$  – показник розподілення напруги,

$$h = 1000 / 3,14 \cdot 16 \cdot 0,87 \cdot 0,65 \cdot 120 = 0,29 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $h = 10$  мм.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Вплив негативних факторів під час роботи**

Шум являє собою різкий, небажаний звук, який сприймається людиною як пружні коливання, що поширюються через тверді, рідкі або газоподібні середовища. Звукові хвилі виникають унаслідок порушення стаціонарного стану середовища під впливом збуджуючої сили. Вплив шуму на людину залежить від його рівня, характеру, тривалості та індивідуальних особливостей. Наприклад, шум, створений самою людиною, не викликає дискомфорту, тоді як навіть незначний зовнішній шум може викликати сильне подразнення.

Відомо, що такі серйозні захворювання, як гіпертонія, виразкова хвороба, та неврози, часто пов'язані з перевантаженням нервової системи. Відсутність тиші під час роботи та відпочинку, особливо вночі, може призводити до передчасної втоми й виникнення захворювань. Шум у межах 30-40 дБ в нічний час може бути серйозним подразнюючим фактором, а підвищення рівня шуму до 80 дБ і більше може мати фізіологічні наслідки для організму людини. Ці шкідливі наслідки посилюються зі збільшенням інтенсивності та тривалості впливу шуму, що може призвести до патологічних змін у організмі.

Для зниження рівня шуму на підприємствах необхідно зменшити енергію відбитих звукових хвиль, що досягається збільшенням еквівалентної площі поглинання приміщення через використання звукопоглинаючих облицювань на внутрішніх поверхнях. Здатність пористого матеріалу поглинати звук залежить від товщини шару, частоти звуку, наявності повітряного проміжку між шарами, та відбиваючої поверхні, на яку він встановлюється. Використання таких облицювань може знизити рівень шуму на 6-8 дБ у зоні відбиття та на 2-3 дБ біля джерела шуму. Незважаючи на відносно незначне зниження, застосування таких облицювань доцільне, оскільки воно змінює спектр шуму, роблячи його менш дратівливим та полегшуючи спілкування й контроль роботи обладнання.

Основними джерелами шуму, не пов'язаними безпосередньо з технологічними операціями, є підшипники кочення, зубчасті передачі, та невірноважені обертові частини. Впровадження ряду заходів щодо зниження вібрацій також сприяє зниженню шуму. До таких заходів належать:

- Заміна зворотно-поступальних рухів деталей на рівномірні обертові рухи.
- Використання косозубих та шевронних передач замість прямозубих, а також підвищення точності обробки та чистоти поверхні зубчастих коліс, що може зменшити шум на 5-10 дБ.
- Перехід від зубчастих і ланцюгових передач до клиноремінних і зубчаторемінних, що дозволяє знизити шум на 10-15 дБ.
- Заміну підшипників кочення на підшипники ковзання, що зменшує шум на 10-15 дБ.
- Використання пластикових деталей замість металевих, наприклад, заміна однієї з сталевих шестерень на капронову може знизити шум на 10-12 дБ.
- Застосування примусового змащування тертьових поверхонь, що знижує зношування.
- Використання прокладкових матеріалів і пружних вставок для мінімізації передачі коливань між деталями агрегату.

Підвищений рівень шуму часто є наслідком несправності або зносу механізмів, тому своєчасний ремонт може значно знизити шум.

#### **4.2 Оцінка проектного технологічного процесу виходячи з умов пожежної безпеки**

Правильне розташування верстатів у цеху є важливим елементом внутрішнього планування, оскільки воно має забезпечувати вільний рух працівника в робочій зоні та можливість швидкої евакуації в разі виникнення пожежі або іншої небезпечної ситуації. У таблиці 8.1 (додатки) представлені правила розміщення обладнання у виробничих приміщеннях.

Варто врахувати, що людське око менше втомлюється в середовищі, де спостерігається різноманітність елементів та колірна гамма. Саме тому неоднорідність навколишнього простору сприяє зниженню втомлюваності зору.

Рекомендації щодо колірної гами для оформлення виробничих приміщень викладені в СН 181-70. Контрольні пристрої на робочих місцях розташовуються за принципом послідовності, відповідно до порядку виконання операцій.

Таблиця 4.2 – Кольорове оформлення виробничих приміщень

| Об'єкт фарбування                                                                           | Рекомендований колір       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Виробниче обладнання                                                                        | Світло-зелений (салатовий) |
| Орган управління                                                                            | Оранжевий (жовтий)         |
| Робочі органи, які при ввімкненому верстаті несуть небезпеку (гітари зубчастих коліс, інші) | Жовтий                     |
| Трубопроводи, батареї                                                                       | Сірий                      |
| Стеля, верхня частина стін                                                                  | Білий                      |
| Стіни                                                                                       | Синій (голубий)            |
| Інструментальні ящики, стелажі для оснастки                                                 | Сірий                      |

Комплект обладнання для робочого місця верстатника включає основне технологічне обладнання, технологічну оснастку й інструменти, організаційні пристрої, засоби охорони праці, а також санітарно-гігієнічні та культурно-побутові елементи.

Розміщення робочого місця планується таким чином, щоб працівник знаходився в центрі умовної робочої зони. Відстань до сусідніх робочих місць повинна бути не меншою за 600 мм, а відстань до проїзної частини — не менше 300 мм. Тару для заготовок (3), стіл з готовими деталями (2) та інструментальний ящик (5) слід розміщувати таким чином, щоб забезпечити вільний рух працівника під час виконання роботи.

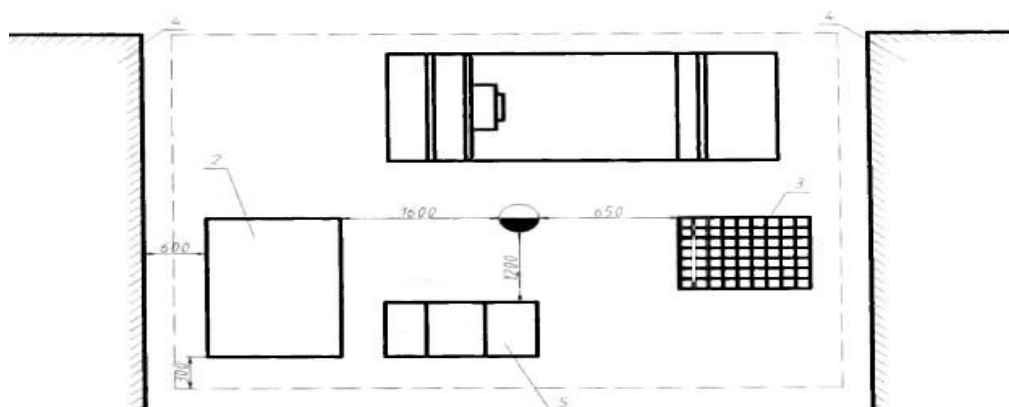


Рисунок 4.1 – Варіант планування робочого місця розточника

Згідно зі СНиП 2.01.02-85, існує шість категорій виробничих приміщень за критеріями пожежної безпеки. Проектоване приміщення належить до категорії Д, що передбачає наявність лише негорючих матеріалів і речовин у холодному стані. Всі будівельні конструкції класифікуються за восьмиступеневою шкалою

вогнестійкості відповідно до СНиП 2.01.02-85, і проєктоване приміщення має II ступінь вогнестійкості. Для забезпечення безпеки людей під час пожежі в проєкті передбачено швидку евакуацію. Відстань від робочого місця до найближчого виходу не перевищує 60 метрів, а кількість евакуаційних виходів — не менше трьох.

Особливу увагу приділено локалізації можливих осередків пожежі. У цеху передбачено первинні засоби пожежогасіння, зокрема прокладено внутрішній пожежний водопровід. Пожежні щити з ящиками для піску розташовані біля кожного проїзду для оперативного гасіння загорянь.

### 4.3 Визначення площини ураження метаном і пропаном

Проведемо розрахунок зони можливого витоку аміаку, який зберігається на складі віддаленому на віддалі 1000 м від підприємства.

Таблиця 4.3 – Вихідні дані

| №<br>з/<br>п | Найменування даних                       | одиниці<br>виміру |               |
|--------------|------------------------------------------|-------------------|---------------|
| 1            | Вид СДОР                                 |                   | Метан, пропан |
| 2            | Кількість СДОР                           | т                 | 30            |
| 3            | Умови збереження СДОР                    |                   | не обваловані |
| 4            | Ступінь вертикальної стійкості атмосфери |                   | Ізотермія     |
| 5            | Швидкість вітру                          | м/с               | 4             |
| 6            | Напрямок вітру                           | град.             | 10            |
| 7            | Характеристика місцевості                |                   | закрита       |
| 8            | Видалення об'єкту від хімічного складу   | км                | 1,0           |
| 9            | Чисельність робочої зміни                | чол.              | 450           |
| 10           | Забезпеченість зміни протигазами         | %                 | 0             |
| 11           | Умови перебування людей                  |                   | у будівлях    |

Для розрахунків необхідно вирішити такі завдання:

1. Визначити габарити та площу зони, яка піддається хімічному ураженню.
2. Розрахувати час, за який заражене повітря досягне об'єкта.
3. Оцінити можливі втрати серед персоналу на об'єкті, зважаючи на використання протигазів.
4. Визначити тривалість впливу СДОР на організм.

5. Зробити висновки та ухвалити рішення щодо захисту робітників і службовців.

#### 1. Визначення розмірів та площі зони хімічного ураження

Параметри зони хімічного зараження залежать від кількості СДОР, що знаходиться на об'єкті, їх фізико-хімічних та токсичних властивостей, умов зберігання, погодних умов і рельєфу місцевості.

Визначимо глибину зони зараження

$$Г = 0,5 \cdot 6,12 = 3,06 \text{ км},$$

де 0,5 – поправочний коефіцієнт на вітер при ізотермії.

Визначимо ширину зони ураження

При ізотермії

$$Ш = 0,15 \cdot Г = 0,15 \cdot 3,06 = 0,459 \text{ км}.$$

Визначимо площу зони хімічного зараження, як площа рівнобедреного трикутника

$$S_3 = 1/2 \cdot Г \cdot Ш = 1/2 \cdot 3,06 \cdot 0,459 = 0,1405 \text{ км}^2$$

#### 1. Визначення часу підходу зараженого повітря до об'єкту

Цей час визначається розподілом відстані Я від місця розливу СДОР до даного об'єкта на швидкість переносу хмари повітряним потоком.

При швидкості вітру 10 м/с при ізотермії  $W = 6 \text{ м/с}$ .

$$t = R/W = 1000/(6 \cdot 60) = 2,78 \text{ хв}.$$

#### 2. Визначення можливих втрат людей у зоні ураження.

Втрати робітників, службовців і проживаючого поблизу від об'єктів населення будуть залежати від чисельності людей, які опинились на площі зони, ступеня захищеності їхнього і своєчасного використання засобів індивідуального захисту (протигазів).

Визначаємо втрати

$$P = 450 \cdot 0,5 = 225 \text{ чол}.$$

Відповідно до примітки структура втрат робітників та службовців буде:

- із смертельним результатом  $225 \cdot 0,35 = 79 \text{ чол}$ .
- середнього і важкого ступеня  $225 \cdot 0,4 = 90 \text{ чол}$ .
- легкого ступеня  $225 \cdot 0,25 = 56 \text{ чол}$ .

#### 3. Визначення часу вражаючої дії СДОР.

Знаходимо, що час випару пропану, що зберігається в необвалованій

ємності при швидкості вітру  $V = 10 \text{ м/с}$  дорівнює  $0,52 \text{ г}$ .

При швидкості  $V = 10 \text{ м/с}$  поправочний коефіцієнт дорівнює  $0,27$ .

Час вражаючої дії пропану складе

$$52 \cdot 0,27 = 0,15 \text{ год.}$$

Таблиця 4.4 – Результати оцінки хімічної обстановки

| Джерело зараження  | Тип СДОР     | Кількість СДОР, т | Глибина зони зараження, км | Загальна площа зони зараження, км <sup>2</sup> | Площа вторинної зони, км <sup>2</sup> | Втрати від СДОР, чол. |
|--------------------|--------------|-------------------|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| зруйнована ємність | метан пропан | 30                | 3,06                       | 0,459                                          |                                       | 225                   |

На основі розрахунків та аналізу хімічної обстановки можна зробити висновок, що пошкодження ємностей з метаном і пропаном (обсягом 30 тонн) може призвести до значних втрат серед людей, включно зі смертельними випадками.

Для запобігання таким наслідкам і захисту працівників, службовців та жителів прилеглих районів, необхідно впровадити наступні заходи:

1. Повне забезпечення людей захисним спорядженням та сучасними протигазами.
2. Оснащення аптечками, які містять засоби для надання першої допомоги при контакті СДОР із відкритими ділянками шкіри.
3. Проведення регулярних інструктажів для працівників.
4. Організація системи оповіщення населення та персоналу за сигналами цивільної оборони у випадку надзвичайних ситуацій.
5. Будівництво герметичних сховищ, обладнаних системами фільтрації повітря, а також забезпечення їх необхідними запасами продуктів, води та інших засобів для підтримки життя під час укриття.
6. Забезпечення хімічного моніторингу повітря на об'єкті за допомогою спеціальних приладів хімічної розвідки.

Ці заходи дозволять мінімізувати втрати серед людей під час аварій на хімічних підприємствах, що використовують і зберігають СДОР.

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розробка техніко-економічної частини

Проведемо техніко-економічний аналіз роботи майстерні після її реконструкції, яка передбачає впровадження технології відновлення агрегатів із застосуванням присадок. Підприємство розташоване на площі 512 м<sup>2</sup>, яку розширять шляхом добудови частини приміщення. Трудомісткість виконання робіт у відповідному відділенні складає 12 873 людино-години, що відповідає 43 умовним ремонтам.

Для успішної реконструкції майстерні необхідно встановити сучасне ремонтно-технологічне обладнання, а також розширити асортимент робіт, що потребуватиме додаткових виробничих площ. Ці площі будуть отримані шляхом реконструкції складу запасних частин. Загальна вартість проведення всіх цих заходів становить 273 100 грн.

Основними вихідними даними для розрахунку економічної ефективності є показники, зазначені у таблиці 5.1.

Для проведення економічної оцінки проекту необхідно визначити наступні показники [39]:

– Вартість проведених ремонтів становить:

$$B_{\text{пр}} = Q \cdot C_{1 \text{ ум.рем.}} \quad (5.1)$$

$$B_{\text{пр}}^{\text{б}} = 39 \cdot 14360,00 = 560040,00 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{пр}}^{\text{пр}} = 42,9 \cdot 16400,00 = 703560,00 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 – Вихідні данні для розрахунку техніко-економічних показників проекту

| Показники                                                      | Позначення показників | Значення показників |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------|
|                                                                |                       | Базовий             | Проектний |
| Обсяг ремонтних робіт, ум. рем.                                | Q                     | 39                  | 42,9      |
| Вартість 1 ум. рем, грн.                                       | Ц <sub>1 ум рем</sub> | 14360,00            | 16400,00  |
| Кількість основних робітників, осіб                            | K <sub>пр</sub>       | 5                   | 6         |
| Середньомісячна заробітна плата робітника з нарахуванням, грн. | ЗП <sub>ср</sub>      | 3520,00             | 4800,00   |

|                                                                           |      |               |           |
|---------------------------------------------------------------------------|------|---------------|-----------|
| Вартість діючого обладнання (балансова), грн.                             | Бд   | 123000,0<br>0 |           |
| Вартість придбаного обладнання, грн.                                      | Бпр  | —             | 167500,00 |
| Вартість будівлі за балансом, грн.                                        | Ббуд | 58750,00      | —         |
| Витрати на реконструкцію ремонтної майстерні та організацію ділянки, грн. | Брек | —             | 105600,00 |
| Річні витрати електроенергії, кВт/рік.                                    | Qел  | 28650         | 36200     |
| Ціна 1 кВт/год. електроенергії, грн.                                      | Цел  | 1,99          | 1,99      |

— Експлуатаційні витрати всього становлять:

$$EB = 3П + A + B_{ел} + B_{рем} + IB, \quad (5.2)$$

де  $3П$  – заробітна плата з нарахуванням, грн.;

$A$  – амортизаційні відрахування, грн.;

$B_{ел}$  – вартість електроенергії, грн.;

$B_{рем}$  – витрати на поточний ремонт (ПР) та технічне обслуговування (ТО), грн.

Заробітна плата з нарахуванням визначається:

$$3П = 1,22 \cdot 3П_{ср} \cdot K_{пр} \cdot 12, \quad (5.3)$$

де 1,22 – коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну платню;

$3П_{ср}$  – середньомісячна заробітна плата робітника, грн.;

$K_{пр}$  – кількість основних робітників, осіб;

12 – кількість місяців.

$$3П^6 = 1,22 \cdot 3520,00 \cdot 5 \cdot 12 = 257664,00 \text{ грн.}$$

$$3П^{пр} = 1,22 \cdot 4800,00 \cdot 6 \cdot 12 = 395280,00 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на амортизацію будівлі та обладнання визначаються:

$$A = A_{обл} + A_6, \quad (5.4)$$

де  $A_{обл}$  – витрати на амортизацію обладнання, грн.;

$A_6$  – витрати на амортизацію будівлі, грн.

Витрати на амортизацію обладнання визначаються:

$$A_{обл}^б = \frac{Б_{обл} + Б_{пр} \cdot \lambda_{обл}}{100} = \frac{(123000,00 + 167500,00) \cdot 21,93}{100} = 63706,65 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

де  $Б_{обл}$  – балансова вартість обладнання, грн.

$Б_{пр}$  – вартість придбаного обладнання, грн.

$\lambda_{обл}$  – норма амортизації обладнання,  $\lambda_{обл} = 21,93\%$ .

Витрати на амортизацію будівлі визначаються:

$$A_{буд}^б = \frac{Б_{буд} \cdot \lambda_{буд}}{100} = \frac{58750,00 \cdot 7,76}{100} = 4559,00 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

$$A_{буд}^{пр} = \frac{Б_{буд} + Б_{орг} \cdot \lambda_{буд}}{100} = \frac{(58750,00 + 105600,00) \cdot 7,76}{100} = 12753,56 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

де  $Б_{буд}$  – балансова вартість будівлі, грн.;

$Б_{орг}$  – витрати на реконструкцію ремонтної майстерні та організацію ділянки, грн.

$\lambda_{буд}$  – норма амортизації будівель,  $\lambda_{буд} = 7,76\%$ .

Тоді загальні витрати на амортизацію становлять:

$$A^б = 26973,90 + 4559,00 = 31532,90 \text{ грн.}$$

$$A^{пр} = 63706,65 + 12753,56 = 76460,21 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію визначаються:

$$В_{ел} = Q_{ел} \cdot Ц_{ел}, \quad (5.9)$$

$$В_{ел}^б = 28650 \cdot 1,98 = 56727,00 \text{ грн.}$$

$$В_{ел}^{пр} = 36200 \cdot 1,98 = 71676,00 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування визначаються:

$$В_{рем} = \frac{A \cdot 30}{100}, \quad (5.10)$$

$$В_{рем}^б = \frac{31532,90 \cdot 30}{100} = 9459,87 \text{ грн.}$$

$$В_{рем}^{пр} = \frac{76460,21 \cdot 30}{100} = 22938,06 \text{ грн.}$$

Інші витрати складають 3% від загальної суми експлуатаційних витрат:

$$ІВ = \frac{3П + А + В_{ел} + В_{рем} \cdot 3}{100}, \quad (5.11)$$

$$ІВ^б = \frac{257664,00 + 31532,90 + 56727,00 + 9459,87 \cdot 3}{100} = 10661,51 \text{ грн.}$$

$$ІВ^{пр} = \frac{395280,00 + 76460,21 + 71676,00 + 22938,06 \cdot 3}{100} = 16990,63 \text{ грн.}$$

Тоді експлуатаційні витрати всього становлять:

$$EB^6 = 257664,00 + 31532,90 + 48132,00 + 9459,87 + 10661,51 = 366045,28 \text{ грн.}$$

$$EB^{np} = 395280,00 + 76460,21 + 71676,00 + 22938,06 + 16990,63 = 583344,90 \text{ грн.}$$

Повна собівартість проведених ремонтів становить:

$$PC^6 = (EB + B_K) \cdot 1,02, \quad (5.12)$$

$$PC^{np} = EB \cdot 1,02, \quad (5.13)$$

де  $B_K$  – витрати на роботи виконані за кооперацією, за даними господарства, грн.

$$PC^6 = EB + B_K \cdot 1,02 = 366045,28 + 160200,00 \cdot 1,02 = 536770,18 \text{ грн.}$$

$$PC^{np} = EB \cdot 1,02 = 583344,90 \cdot 1,02 = 595011,80 \text{ грн.}$$

Загальний прибуток становить:

$$П = B_{np} - PC, \quad (5.14)$$

$$П^6 = 560040,00 - 536770,18 = 23269,82 \text{ грн.}$$

$$П^{np} = 703560,00 - 595011,80 = 108548,20 \text{ грн.}$$

Приріст прибутку становить:

$$П = П^{np} - П^6 = 108548,20 - 23269,82 = 85278,38 \text{ грн.} \quad (5.15)$$

Рівень рентабельності становить:

$$P = \frac{П \cdot 100}{PC}, \quad (5.16)$$

$$P^6 = \frac{23269,82 \cdot 100}{536770,18} = 4,3\%$$

$$P^{np} = \frac{108548,20 \cdot 100}{536770,18} = 18,2 \%$$

Обсяг додаткових капітальних вкладення становить:

$$B = B_{np} + B_{орг} = 167500,00 + 105600,00 = 273100,00 \text{ грн.} \quad (5.17)$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень становить:

$$T_0 = \frac{B}{П} = \frac{273100,00}{85278,38} = 3,2 \text{ років.} \quad (5.18)$$

Таблиця 5.2 – Економічна ефективність проекту

| Показники                | Базовий  | Проектний |
|--------------------------|----------|-----------|
| Вид робіт                | Ремонт   |           |
| Обсяг робіт, ум. рем.    | 39       | 43        |
| Ціна 1 ум. ремонту, грн. | 14360,00 | 16400,00  |

|                                             |           |           |
|---------------------------------------------|-----------|-----------|
| Вартість проведених ремонтів, грн.          | 560040,00 | 703560,00 |
| Кількість основних робітників, осіб.        | 5         | 6         |
| Обсяг додаткових капіталовкладень, грн.     | —         | 273100,00 |
| Експлуатаційні витрати всього, грн..        | 366045,28 | 583344,90 |
| - заробітна плата з нарахуваннями, грн.     | 257664,00 | 395280,00 |
| - амортизаційні відрахування, грн.          | 31532,90  | 76460,21  |
| - вартість електроенергії, грн.             | 56727,00  | 71676,00  |
| - витрати на ПР та ТО, грн.                 | 9459,87   | 22938,06  |
| - інші витрати, грн..                       | 10661,51  | 16990,63  |
| Повна собівартість продукції, грн           | 536770,18 | 595011,80 |
| Загальний прибуток, грн.                    | 23269,82  | 108548,20 |
| Рівень рентабельності, %                    | 4,3       | 18,2      |
| Приріст прибутку, грн.                      | —         | 85278,38  |
| Термін окупності додаткових вкладень, років | —         | 3,2       |

Результати техніко - економічної оцінки проектних рішень показують, що заходи реконструкції ремонтної майстерні товариства дозволяють отримати річний прибуток господарства 85278,38 грн., при цьому термін окупності капітальних витрат складає 3,2 років.

## ВИСНОВОК

Проаналізовані ключові дефекти деталей гусеничного візка екскаватора та встановлені їх основні причини. Виявлено, що найпоширенішими дефектами є: зношення підшипникових поверхонь, пошкодження або зношування шліцевих елементів, биття поверхонь, тріщини, поломки або відколи зубів шестірень, зношення різьбових частин, а також тріщини та відколи.

Розроблено вдосконалений технологічний процес для відновлення деталей гусеничного візка екскаватора на основі сучасних методів залізнення та використання комбінованих різальних інструментів для механічної обробки.

Відібрано необхідне обладнання та технологічне оснащення для ремонту. Спроектовано пристосування з гідравлічним приводом для закріплення зубчастого колеса під час фрезерування площин, а також пристосування для точного базування вала під час фрезерування шліцевих елементів.

Проведено розрахунок необхідної кількості обладнання та робітників для відновлення картера провідного мосту автомобілів ЗИЛ-5301. Встановлено, що потрібно 9 одиниць обладнання та 9 працівників.

Розроблено заходи з охорони праці, включаючи заземлення токарного верстата та заходи зі зниження шуму у виробничому цеху.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шадричев В.А. Основи технології автобудування й ремонт автомобілів. – К: Машинобудування, 1996. – 560 с.
2. Есенберлін Р.Е. Капітальний ремонт автомобілів. – К.: Транспорт, 1999. – 343 с.
3. Григорьянц А.Г. Основи лазерної обробки матеріалів. – К.: "Машинобудування", 1999 – 254 с.
4. Сидоров А.І. Відновлення деталей машин напилюванням і наплавленням. – К: Машинобудування, 1997. – 270 с.
5. Гусенков А.П. і ін. Методи і засоби зміцнення поверхонь деталей машин концентрованими потоками енергії. – К.: Наука, 2002. – 341 с.
6. Григорьянц А.Г., Шиганов І.Н., Місюров А.І. Технологічні процеси лазерної обробки: Навч. посібник для вузів / Під ред. А.Г. Григорьянца. – Луцьк: Вид-во ЛНТУ, 2006. – 664 с.
7. Забелін А.М., Шиганов І.Н., Чірков А.М., Хрусталев Ю.А. Гібридні технології лазерного наплавлення: Посібник. – Луцьк: вид-во ЛНТУ, 2007. – 197 с.
8. Довідник технолога авторемонтного виробництва. Під ред. Малишева Г.А., – К.: Транспорт, 1997. – 432 с.
9. Довідник технолога-машинобудівника: 2 том / Під ред. Г.А. Косілової і Р.К. Мещерякова – М.: Машинобудування, 1995. – 496 с.
10. Силантьєва Н.А., Малиновський В.Р. Технічне нормування праці в машинобудуванні. – К.: Машинобудування, 2001. – 184 с.
11. Уткін Н.Ф. Пристосування для механічної обробки. – Л.: Львівполіграфія, 2003. – 115 с.
12. Переналагоджуване технологічне оснащення / Під ред. Д.І. Полякова. – К.: Машинобудування, 1998. – 324 с.
13. Корсаків В.С. Основи конструювання пристосувань: підручник для ВНЗ – К.: Машинобудування, 1993. – 277 с.

14. Разумов І.М., Глагольєва Л.А., Ипатов М.І., Ермилов В.П. Організація, планування й керування підприємством машинобудування. М.: «Машинобудування», 1982. – 544 с.
15. Бортницький П.І. Охорона праці на автомобільному транспорті. Київ: Вища школа, 1988. – 263 с.
16. Салов А.І. Охорона праці на підприємствах автомобільного транспорту. М.: Транспорт, 1985. – 351с.
17. Ковалів Ю.М. Охорона праці на підприємствах автомобільного транспорту: Довідник. – М.: Транспорт, 1986. – 272 с.
18. Охорона праці на автотранспортних підприємствах: Довідник / Салов А.І., Дудлер Г.Б., Розен З.В. і ін. / Під. ред. А.І. Салова. – М.: Транспорт, 1976.-248 с.
19. Методичні вказівки по економічному обґрунтуванню технологічних розробок у дипломних проектах за технологією машинобудування й ремонту машин для студентів спеціальностей 7.090214, 7.090258 / М.А. Подригало, Б.В. Савченков, Ю.В. Дудукалов, В.А. Цыбульський. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 42 с.
20. Гноєв О.М. Обґрунтування та розробка технології відновлення деталей газополум'яним напиленням порошкових металів із застосуванням електромеханічної обробки. Автореферат, 1995 - 16 с.
21. Аскіназі Б.М. Зміцнення та відновлення деталей машин електромеханічною обробкою. - К: Машинобудування, 1999. – 200 с.
22. Суслов А. Г. Якість поверхневого шару деталей машин. - К: Машинобудування, 2000, с. 320.
23. Федоров С.К., Федорова Л.В. Електромеханічна обробка. РИТМ – 2012 - №2 (70), с. 14-16.
24. Лавров А.А., Панікратов С.Ю. Технологічні можливості процесу низькотемпературного поверхневого пластичного деформування. Машинобудівник, №11-12, 1998, с. 53-54.