

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАРА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технологічного процесу відновлення вала сошки гідро підсилювача рульового керування автомобіля КрАЗ 260

Виконав: студент 4 курсу, групи МАС-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Олег АТАМАНЧУК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Олег БРОДЯК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник
(підпис) Іван ГЕВКО
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль
(підпис) Роман ХОРОШУН
(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри
(підпис) Олег ЦЬОНЬ
(прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)
«23» січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Атаманчука Олега Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу відновлення вала сошки гідро підсилювача рульового керування автомобіля КрАЗ 260

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 23 » січня 2025 року № 4/7-38

2. Термін подання студентом завершеної роботи 09 червня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес відновлення вала сошки гідро підсилювача рульового керування автомобіля КрАЗ 260

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Загально-технічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Гідропідсилювач рульового керування – 1А1;

Схема рульового керування автомобіля – 1А1;

Карта дефектів – 1А1;

Оперіційні ескізи – 1А1;

Види наплавлення – 1А1;

Установка для наплавлення – А1;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	к.т.н. доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 23.січня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	06.02.2025	
2	Технологічний розділ	03.05.2025	
3	Конструкторський розділ	30.05.2025	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	17.06.2025	
5	Оформлення графічної частини	18.06.2025	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	26.06.2025	

Студент

(підпис)

Атаманчук Олег Володимирович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гевко Іван Богданович

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)
«23» січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Бродяка Олега Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу відновлення вала сошки гідро підсилювача рульового керування автомобіля КрАЗ 260

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 23 » січня 2025 року № 4/7-38
2. Термін подання студентом завершеної роботи 09 червня 2025
3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес відновлення вала сошки гідро підсилювача рульового керування автомобіля КрАЗ 260
4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
2 Технологічний розділ. 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Привід обертача для накладання кільцевих швів – 1А1;
Установка для наплавлення – 1А1;
Головка для наплавлення – 1А1;
Установка для наплавлення – 1А1;
Стенд для перевірки рульових механізмів – 1А1;
Люфтомір – 1А1;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	к.т.н. доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 23.січня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	06.02.2025	
2	Технологічний розділ	03.05.2025	
3	Конструкторський розділ	30.05.2025	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	17.06.2025	
5	Оформлення графічної частини	18.06.2025	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	26.06.2025	

Студент

(підпис)

Бродяк Олег Володимирович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гевко Іван Богданович

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Удосконалення технологічного процесу відновлення вала сошки гідро підсилювача рульового керування автомобіля КрАЗ 260».

Робота виконана на кафедрі автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра д.т.н., професор Гевко Іван Богданович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 101 сторінка формату А4 та 12 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова: гідропідсилювач керма, вал сошки, відновлення деталей, методи наплавлення, зносостійкість.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	11
1.1 Аналіз конструктивних елементів системи рульового керування.....	11
1.2 Конструктивно-технологічна характеристика деталі.....	14
1.3 Технічні вимоги.....	16
1.4 Карта дефектів.....	17
1.5 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра....	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	20
2.1 Обґрунтування вибору методу відновлення деталі.....	20
2.2 Вибір технологічних баз для відновлення.....	22
2.3 Технологічний процес усунення дефектів.....	24
2.4 Технологічний маршрут відновлення вала сошки.....	26
2.5 Вибір обладнання та технологічного оснащення.....	33
2.6 Розрахунок припусків на обробку.....	35
2.7 Розрахунок параметрів різання та тривалості основного технологічного часу.....	39
2.8 Визначення норм часу.....	47
2.9 Розрахунок параметрів системи рульового керування.....	51
2.10 Аналіз навантажень у системі рульового керування.....	55
2.11 Удосконалення конструкції рульової сошки та поперечної тяги.....	67
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	69
3.1 Вихідні вимоги до проєктування стенда.....	69
3.2 Технічна пропозиція.....	72
3.3 Розрахунок ключових конструктивних елементів стенда.....	81
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	86
4.1 Класифікація причин виробничого травматизму.....	86
4.2 Вимоги безпеки при ремонті гідро обладнання.....	88

	8
4.3 Правила техніки безпеки при експлуатації абразивних кругів.....	89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	97
БІБЛІОГРАФІЯ.....	99
ДОДАТКИ	

ВСТУП

В умовах інтенсивної експлуатації великотоннажних автомобілів, зокрема військових і спеціалізованих транспортних засобів, таких як КрАЗ-260, особливої актуальності набуває проблема забезпечення надійності та довговічності елементів рульового керування. Одним із найбільш навантажених компонентів у системі гідروпідсилювача є вал сошки, який піддається постійному динамічному навантаженню та схильний до інтенсивного зносу в процесі експлуатації.

Зношування поверхонь вала сошки порушує геометричну точність посадкових з'єднань, знижує жорсткість та надійність з'єднань, що в свою чергу негативно впливає на керуваність автомобіля, створює додаткові навантаження на суміжні вузли та агрегати, а також підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій. У зв'язку з цим виникає необхідність у своєчасному технічному обслуговуванні та ефективному відновленні таких деталей з метою продовження ресурсу вузла без втрати функціональних характеристик.

Традиційні методи відновлення не завжди забезпечують належний рівень зносостійкості та точності, тому удосконалення технологічного процесу, впровадження сучасних методів наплавлення, термообробки, механічної обробки та контролю якості стає актуальним завданням. Раціональний підхід до вибору матеріалів та режимів відновлення дозволяє не лише покращити експлуатаційні показники вала сошки, а й оптимізувати витрати на ремонт, що має суттєве значення для автопарків із великою кількістю техніки. Порушення геометричних параметрів або руйнування вала сошки призводить до зниження точності керування, зростання люфту в рульовій системі, а у деяких випадках - до повної втрати керуваності транспортного засобу. Заміна цього елемента є затратною як з економічної, так і з логістичної точки зору, особливо в умовах обмеженого ресурсу запасних частин. Тому удосконалення технології відновлення вала сошки є доцільним і технічно обґрунтованим напрямком підвищення ефективності ремонтного обслуговування автотransпортних засобів.

Дана кваліфікаційна робота спрямована на дослідження сучасних підходів до відновлення вала сошки гідروпідсилювача рульового керування, обґрунтування доцільного технологічного маршруту, вибір оптимальних способів наплавлення та механічної обробки, що дозволяють забезпечити відповідність відновленої деталі вимогам технічної експлуатації. Особлива увага приділяється питанням ресурсозбереження, підвищення точності та зниження собівартості ремонту при збереженні або покращенні експлуатаційних характеристик деталі.

У межах роботи також розглянуто вплив параметрів наплавлення на структуру і твердість поверхні, вибір зносостійких матеріалів для відновлення, а також методи контролю геометричних параметрів після обробки. Проведено техніко-економічне обґрунтування застосування удосконаленого процесу у виробничих умовах, що підтверджує ефективність впроваджених рішень. Результати дослідження можуть бути використані на підприємствах, які спеціалізуються на ремонті важкої автотехніки, для підвищення надійності транспортних засобів та скорочення витрат на відновлення зношених деталей.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз конструктивних елементів системи рульового керування

Система рульового приводу є сукупністю механічних компонентів, до складу якої входять тягова система, важелі та шарнірні з'єднання кульового типу. Основною її функцією є передача керуючого зусилля від рульового механізму безпосередньо до поворотних коліс транспортного засобу. Конструкція рульового приводу повинна забезпечувати узгоджене обертання керованих коліс відповідно до заданих параметрів кута повороту, що суттєво впливає на динамічну стійкість і точність управління автомобілем [43].

У загальному вигляді система рульового керування складається з двох основних підсистем: рульового механізму та рульового приводу. Зважаючи на те, що при здійсненні повороту кожне з передніх коліс описує дугу з індивідуальним радіусом, конструктивно передбачено різницю в кутах їх повороту. Внутрішнє відносно центру повороту колесо має змінювати напрямок руху під більшим кутом, ніж зовнішнє. Таке узгодження забезпечується геометрією рульової трапеції, що формується балкою передньої осі, нижніми важелями поворотних цапф і поперечною рульовою тягою.

Щодо рульового механізму, то його завдання полягає в трансформації невеликого зусилля, прикладеного водієм до рульового колеса, у значно більше силове зусилля, достатнє для повернення керованих коліс. При цьому механізм забезпечує необхідне передавальне відношення, що дозволяє ефективно керувати напрямком руху транспортного засобу навіть за умов значних опорів у ходовій частині.

У сучасному автомобілебудуванні застосовується декілька основних типів рульових механізмів, кожен з яких має свої конструктивні особливості, сферу застосування та рівень ефективності залежно від типу транспортного засобу.

1. Механізм типу «шестерня-рейка». Цей тип конструкції передбачає жорстке з'єднання кермового колеса зі шестернею, яка при обертанні переміщує зубчасту рейку у поздовжньому напрямку. Рух рейки передається через поперечні рульові тяги на поворотні важелі керованих коліс. Такий механізм

відзначається простотою конструкції, компактністю та високою точністю передавання зусиль, тому набув широкого розповсюдження на легкових автомобілях із переднім приводом.

2. Механізм типу «черв'як – сектор зубчастого колеса». У даній системі обертання кермового колеса передається на черв'як, який взаємодіє із зубчастим сектором. Часто у якості проміжної ланки використовується ролик, що перекочується по черв'яковій поверхні, зменшуючи втрати на тертя. Обертання сектора передається через вал із важелем, який, у свою чергу, впливає на рульовий привід. Така конструкція є більш складною за кількістю компонентів, однак має достатній коефіцієнт підсилення, що зробило її типовою для задньопривідних автомобілів із двоважільною підвіскою.

3. Механізм типу «гвинт – кулькова гайка». Цей варіант рульового механізму реалізує трансформацію обертального руху валу керма у поступальний рух за рахунок взаємодії гвинта з так званою кульковою гайкою – спеціальною втулкою з внутрішнім гвинтовим профілем. Між гвинтом і втулкою циркулюють сталеві кульки, які значно знижують опір руху за рахунок заміни тертя ковзання на тертя кочення. Цей тип механізму переважно використовується у вантажних автомобілях і часто поєднується з гідропідсилювачем, де кулькова гайка виконує одночасно функцію поршня у гідроциліндрі.

На рисунку 1.1 представлено схематичне зображення системи гідропідсилювача рульового керування, що застосовується у вантажному автомобілі, яка ілюструє принцип взаємодії механічного та гідравлічного компонентів у процесі керування транспортним засобом.

На рисунку 1.2 представлено конструктивну схему рульового механізму, в якому гідропідсилювач інтегрований безпосередньо в його корпус. Зображення деталізує основні елементи вузла, кожен із яких виконує специфічну функцію у забезпеченні ефективного керування транспортним засобом.

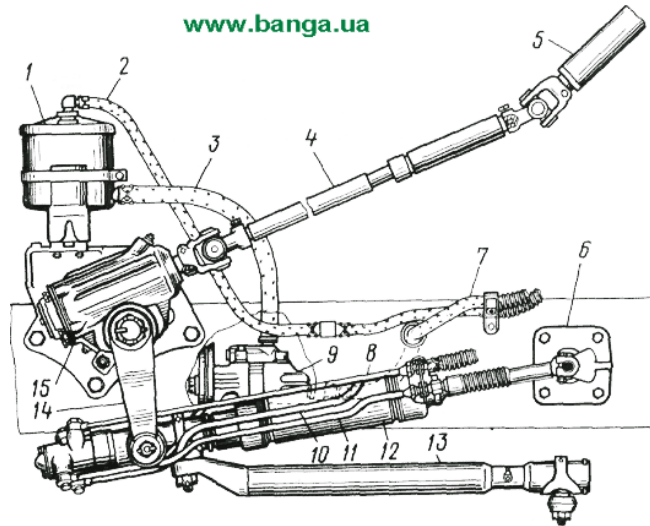


Рис. 1 1. Рульове керування:

1 - масляний бачок; 2 - зливний шланг; 3 - підвідний (живильний) шланг; 4 - карданний вал; 5 - вал рульової колонки; 6 - кронштейн гідро підсилювача; 7 - напірний шланг; 8 - трубопровід від розподільника до силового циліндра; 9 - насос гідро підсилювача; 10 - зливна трубка; 11 - напірна трубка; 12 - гідро підсилювач; 13 - поздовжня рульова тяга; 14 - сошка рульового керування; 15 - рульовий механізм.

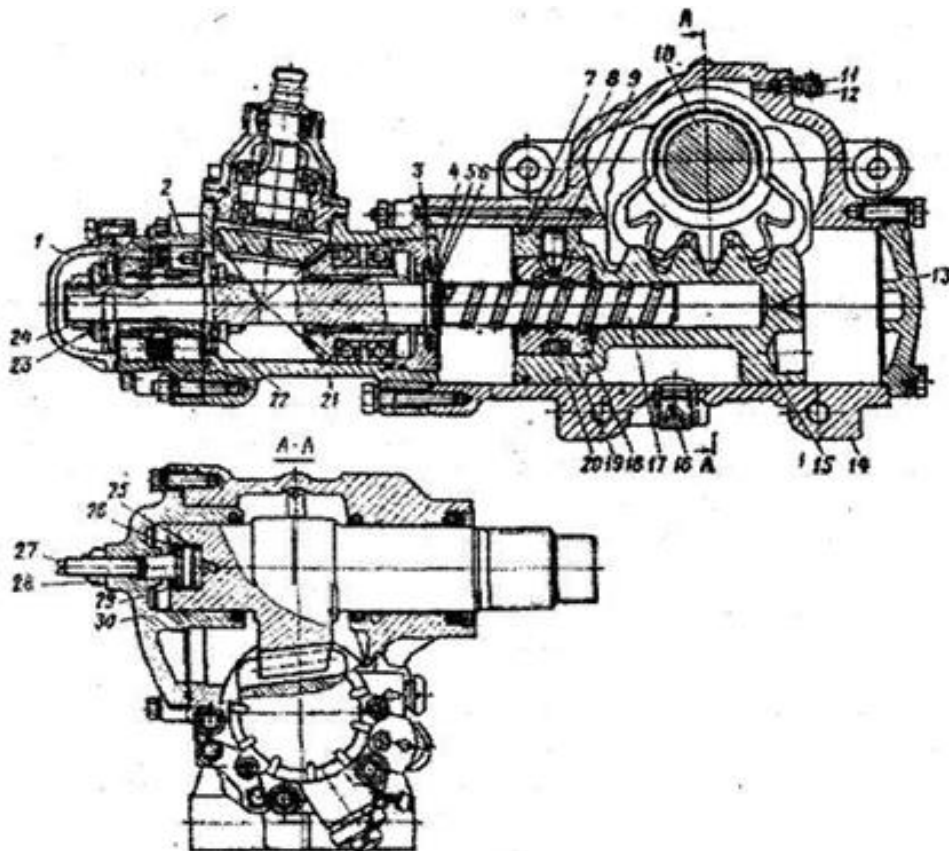


Рис. 1.2. Схема рульового механізму з інтегрованим гідро підсилювачем:

1 - передня кришка; 2 - клапан керування потоком гідропідсилювача; 3, 28 - стопорні кільця; 4 - втулка плаваючого типу; 5, 7 - ущільнювальні кільця; 6, 8 -

розпірні кільця; 9 - регулювальний гвинт; 10 - вал сошки рульового механізму; 11 - перепускний клапан; 12 - захисний ковпачок; 13 - задня кришка; 14 - корпус (картер) рульового механізму; 15 - поршень-рейка, що трансформує зусилля гідروпідсилювача у поступальний рух; 16 - магнітна зливна пробка; 17 - гвинт (елемент кріплення або налаштування); 18 - кулькова гайка, яка взаємодіє з гвинтовою передачею; 19 - напрямний жолоб для кульок; 20 - сталеві кульки, що знижують тертя при передачі зусиль; 21 - кутовий редуктор, що забезпечує передачу крутного моменту під кутом; 22 - радіально-наполегливий роликотпідшипник; 23 - пружинна шайба; 24, 26 - кріпильні гайки; 25 - регулювальний гвинт, що дозволяє налаштовувати зазор у механізмі; 27 - бічна кришка; 29 - калібрована регулювальна шайба; 30 - наполеглива шайба.

Зазначена схема дозволяє зрозуміти конструктивну побудову та функціональний взаємозв'язок елементів рульового механізму з гідропідсилювачем, що застосовується у важких вантажних автомобілях.

1.2 Конструктивно-технологічна характеристика деталі

Вал сошки, що є складовим елементом гідравлічного підсилювача рульового керування вантажного автомобіля, виготовляється з легованої конструкційної сталі марки 40Х, яка характеризується високими механічними властивостями та доброю технологічністю при термічній обробці.

Цей компонент взаємодіє з поршнем-рейкою гідропідсилювача, забезпечуючи передавання обертального моменту від рульового механізму до виконавчих органів, які змінюють напрямок руху керованих коліс транспортного засобу. Вал сошки сприймає змінні навантаження та працює в умовах тертя, що зумовлює необхідність високої зносостійкості контактних поверхонь.

Для забезпечення заданої міцності й довговічності, робочі шийки вала піддаються поверхневому зміцненню методом високочастотного індукційного гартування (СВЧ) на глибину щонайменше 0,6 мм. Після термічного впливу виконується відпуск, що дозволяє зняти внутрішні напруження та досягти

стабільності мікроструктури. У результаті обробки твердість поверхневого шару становить у межах HRCэ 46...54, що відповідає вимогам до деталей, які працюють в умовах циклічного навантаження та підвищеного тертя.

Вал сошки, що є складовим елементом системи гідравлічного підсилювача керма, характеризується наявністю посадочних шийок (із допуском за 7-м квалітетом точності та параметром шорсткості $Ra = 1,25$), а також зовнішніх зубчастих і шліцьових поверхонь. Саме через ці робочі поверхні здійснюється передача обертового моменту, тому вони зазнають інтенсивного зношування, а також можуть піддаватися іншим формам механічного руйнування.

На торцевих частинах вала виконано два центрувальні отвори, які виконують функцію технологічних баз під час виготовлення деталі, а також застосовуються в процесі її відновлення. Такий підхід дозволяє забезпечити симетричність обробки та збереження геометричної точності у критичних зонах.

На рисунку 1.3 умовно позначено характерні пошкодження, притаманні даному типу деталі на прикладі вала сошки вантажного автомобіля. До основних виявлених дефектів належать:

- знос шийки (позначення 2.1);
- спрацювання шліцьової частини по ширині (позначення 4);
- поява тріщин на поверхні зубців (позначення 3).

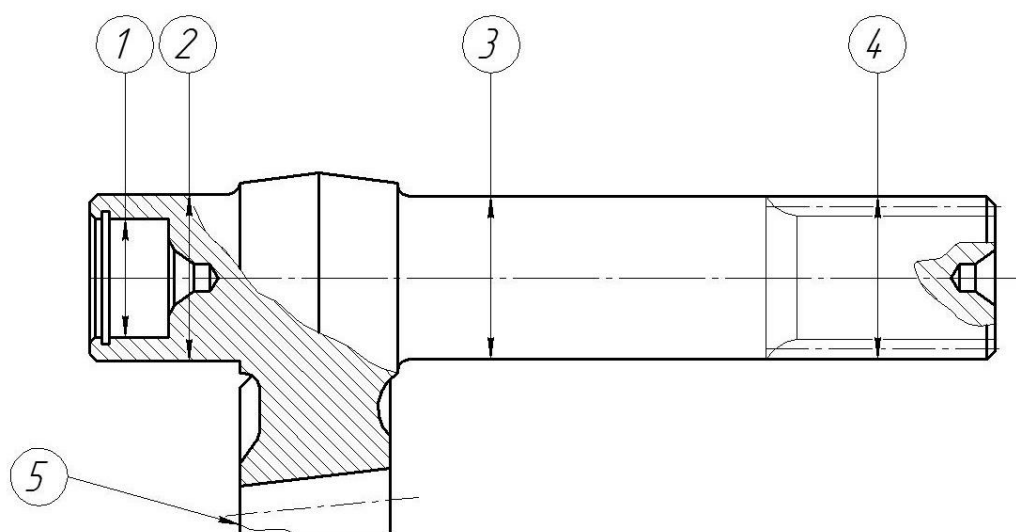


Рис. 1.3 – Вал сошки рульового гідро підсилювача.

Головними чинниками, що спричиняють появу зазначених дефектів, є циклічне навантаження, контактне тертя та різкі динамічні імпульси, які

виникають під час маневрування автомобіля на нерівних дорожніх покриттях, зокрема на ґрунтових дорогах із глибокою колією. У таких умовах рульовий механізм зазнає значних силових впливів, особливо при спробі вивести важкий транспортний засіб із нестабільної траєкторії руху.

Аналітична оцінка деталі – вала сошки рульового керування. Після проведеного технічного аналізу конструкції та стану вала сошки рульового гідروпідсилювача можна сформулювати низку технологічних висновків, що мають практичне значення при розробці маршруту відновлення:

Відновлення геометричної точності шийок доцільно здійснювати методом абразивної обробки, зокрема - шліфуванням. З огляду на ступінь зносу можливе застосування двоступеневого режиму: чорнового знімання дефектного шару з наступним чистовим шліфуванням для досягнення заданих параметрів шорсткості та допусків.

Як технологічні бази доцільно використовувати наявні центрувальні отвори, які слугували базовими елементами й під час первинного виготовлення деталі. Проте перед їх повторним використанням необхідно виконати їхнє відновлення - попередньо встановивши вал у трикулачковий патрон та здійснивши розточування отворів для забезпечення співвісності та геометричної точності.

Конструкційна форма деталі дозволяє ефективно застосовувати класичні методи механічної обробки, що забезпечує високу технологічність процесу відновлення та не потребує впровадження спеціалізованого обладнання або нестандартних технологічних рішень.

За класифікацією заготовок деталей належить до типу «циліндричних стержнів круглого перерізу». Вага деталі становить 1,263 кг, при цьому габаритні розміри визначаються як: довжина – 188 мм, висота – $84 \pm 0,03$ мм.

1.3 Технічні вимоги

У процесі технологічного відновлення вала сошки, що входить до складу системи гідропідсилювача рульового керування, необхідно дотримуватись ряду

критичних параметрів обробки, які безпосередньо впливають на функціональну надійність деталі:

Якість обробки центрувальних отворів повинна забезпечувати параметр шорсткості поверхні на рівні $Ra = 1,25$, що є мінімально необхідним для забезпечення точного базування під час подальшої механічної обробки або контролю.

Для робочих поверхонь, позначених як А і Б, також встановлюється вимога до шорсткості $Ra = 1,25$, що гарантує належний контакт з відповідними елементами механізму та знижує ризик передчасного зносу.

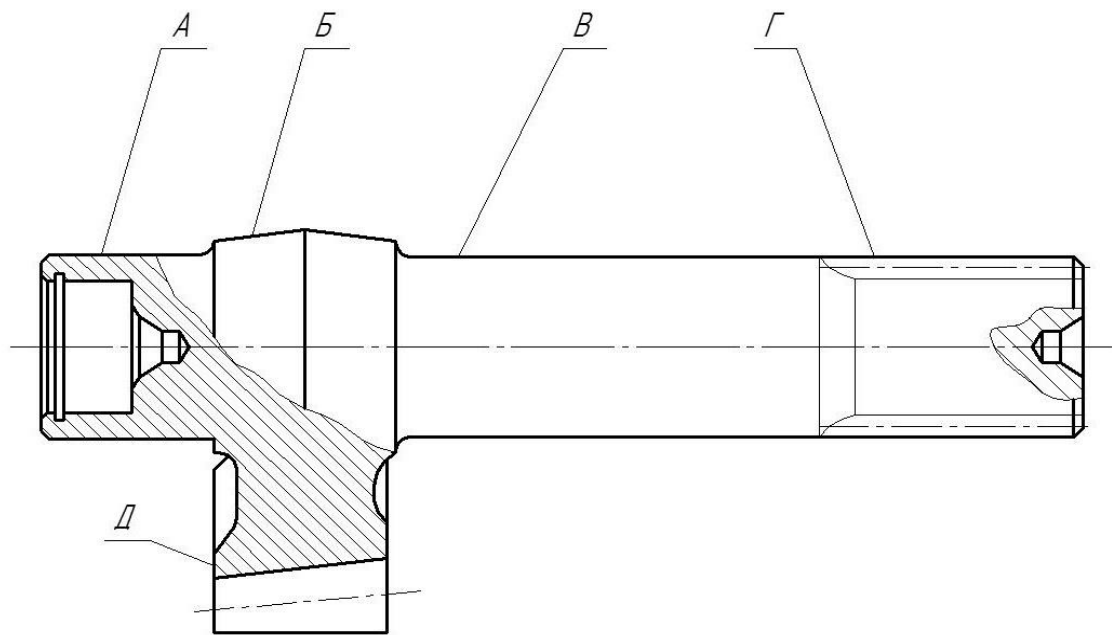


Рис. 1.4. Вал сошки рульового гідро підсилювача.

Конусність на ділянках А, Б і Г повинна бути обмежена значенням не більше ніж 0,018 мм, що забезпечує геометричну стабільність посадочних зон і запобігає порушенню співвісності при взаємодії з деталями з'єднання.

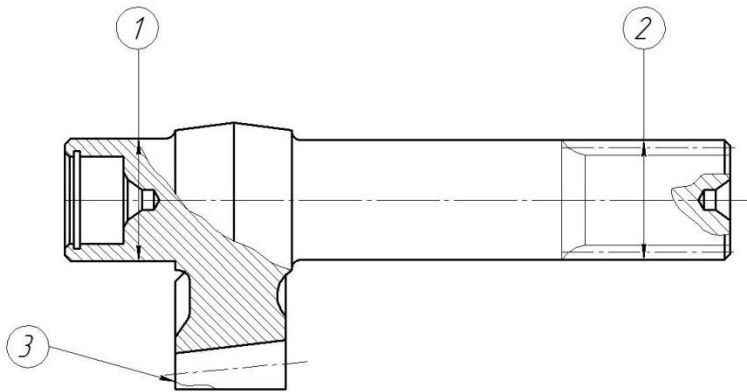
Вказані параметри є критично важливими для досягнення необхідної точності та довговічності відновленої деталі, з урахуванням умов експлуатації вала у складі силового вузла вантажного автомобіля.

1.4 Карта дефектів

Карта дефектів вала сошки автомобіля КрАЗ призначена для систематизованого виявлення, фіксації та класифікації пошкоджень, які

виникають у процесі експлуатації цієї деталі. Вона дозволяє визначити характер зношування, встановити причини виникнення дефектів та обґрунтувати вибір технологій для ефективного відновлення. Така карта є основою для планування ремонтних робіт і забезпечення надійної роботи системи рульового керування.

Таблиця 1.1 - Карта технічних вимог на дефектування деталі

Деталь (складальна одиниця): Вал сошки гідро підсилювача рульового керування  № деталь Матеріал: Сталь 40Х Твердість: HRC₃ 46...54					
Позиція	Можливий дефект	Спосіб виявлення дефекту і засоби контролю	Розмір, мм		Висновок
			за робочим кресленням (номінальний)	Допустимий без ремонту	
1	Знос поверхні шийки	Скоба 38,95мм або мікрометр 30-50 мм	39 _{-0,028}	38,95	Вібродугове наплавлення, хромування, залізнення.
2	Знос шліців по ширині	Шліцевий калібр 1,85 мм або штангельзубом ір	1,855 _{-0,02}	1,85	Наплавлення під флюсом
3	Тріщина на поверхні зуба	Огляд.	—	—	Ремонтувати. Заварювання

1.5 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Провести техніко-економічне обґрунтування вибору оптимального способу відновлення вала сошки системи рульового керування легкового автомобіля. Обґрунтувати вибір технологічних баз, які забезпечують точність та надійність відновлювального процесу. Розробити технологічний процес усунення дефектів, виявлених у процесі дефектації вала сошки.

Скласти деталізований технологічний маршрут відновлення деталі з урахуванням усіх стадій обробки. Здійснити обґрунтований вибір обладнання, інструментів та технологічного оснащення для кожного етапу процесу. Провести розрахунок припусків на механічну обробку з урахуванням типу дефекту та методу відновлення. Визначити режими різання і виконати розрахунок тривалості основного технологічного часу. Провести нормування часу на окремі операції з відновлення вала. Розрахувати навантаження, що діють у системі рульового керування, з урахуванням геометричних і силових параметрів. Провести аналіз напружень та розподілу навантажень у вузлах рульового приводу, що взаємодіють із валом сошки. Запропонувати технічні заходи з удосконалення конструкції вала сошки та поперечної тяги з урахуванням підвищення їх надійності та довговічності.

Сформулювати вихідні вимоги до проектування випробувального стенда, призначеного для перевірки рульового вузла. Розробити технічну пропозицію щодо конструкції стенда, з подальшим розрахунком його основних елементів. Провести аналіз виробничих ризиків і класифікувати основні причини виробничого травматизму під час виконання ремонтних робіт.

Визначити вимоги з охорони праці при ремонті гідравлічного обладнання, що може входити до складу рульової системи. Розробити комплекс заходів безпеки при експлуатації абразивних інструментів, що використовуються для обробки деталей системи керування.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обґрунтування вибору методу відновлення деталі

З метою забезпечення відновлення працездатності вала сошки гідропідсилювача рульового керування вантажного автомобіля, було здійснено аналіз характеру ушкоджень, представлених у відповідній карті дефектів [6], а також проведено техніко-економічне порівняння можливих технологічних рішень.

Розглянемо один із найбільш поширених дефектів - знос шийки діаметром $d = 39$ мм із допуском $-0,026$ мм, при якому величина зносу складає $0,14$ мм. Для усунення цього дефекту можуть бути застосовані такі методи:

вібродугове наплавлення;

електрохімічне хромування;

метод залізнення (електролітичне осадження заліза).

Для об'єктивного вибору оптимального способу відновлення здійснено порівняння зазначених методів за двома ключовими критеріями: коефіцієнтом довговічності (K_d), що характеризує ресурс відновленої поверхні, та коефіцієнтом техніко-економічної ефективності (K_e), що враховує сукупність витрат і технологічної доцільності.

Оцінка довговічності відновленої поверхні виявила наступні значення:

вібродугове наплавлення - $K_d = 0,98$;

хромування - $K_d = 1,72$;

залізнення - $K_d = 0,91$.

Усі методи забезпечують необхідний міжремонтний ресурс (не менше 80% від номінального значення), однак різняться з точки зору економічної доцільності. Відповідно до розрахунків:

вібродугове наплавлення - $K_e = 0,256$;

хромування - $K_e = 0,087$;

залізнення - $K_e = 0,837$.

На основі вищезазначеного аналізу найефективнішим методом для усунення зносу шийки за критерієм співвідношення тривалості служби і витрат

на відновлення є залізнення, що дозволяє забезпечити високий рівень зчеплення з основним матеріалом, прийнятну твердість, а також оптимізувати витрати на ремонт.

Таким чином, для усунення дефекту №1 доцільним є застосування методу залізнення, що забезпечує баланс між функціональністю та економічністю у процесі відновлення деталі.

Дефект №2 – зношування шліцьової частини по ширині. У процесі експлуатації вала сошки в умовах підвищених крутильних навантажень може спостерігатися характерне пошкодження – зменшення ширини шліцьових виступів. В аналізованому випадку діаметр з'єднання становить $d = 1,855$ мм з допуском $-0,04$ мм, при цьому величина зносу досягає $0,138$ мм, що суттєво перевищує припустимі норми для з'єднань з передачею крутного моменту.

З огляду на складну конфігурацію шліцьової поверхні, що вимагає забезпечення точного профілю зуба та високої міцності відновленого шару, найраціональнішим варіантом усунення цього дефекту є наплавлення під флюсом. Цей спосіб дозволяє досягти необхідної товщини металу, забезпечити високу якість з'єднання наплавленого шару з основним матеріалом, а також гарантує стабільні механічні характеристики в зоні відновлення.

Після завершення наплавлення обов'язковим є механічне оброблення поверхні, зокрема фрезерування шліців до номінальних розмірів, з дотриманням профільних параметрів і точності з'єднання.

Дефект №3 – Тріщини на поверхні зубчастої частини вала сошки. Одним із небезпечних пошкоджень, що виникають під час інтенсивної експлуатації вала сошки гідропідсилювача, є утворення тріщин у зоні зубчастого профілю. Такі мікродефекти можуть розвиватися внаслідок втомного навантаження, концентраторів напружень або різких динамічних перевантажень, що призводить до ризику розповсюдження тріщин і руйнування деталі [6].

Для усунення тріщин на поверхні зуба технічно можливими методами є:

- газове зварювання;
- електродугове зварювання.

Обидва способи характеризуються однаковим рівнем довговічності відновленої зони, при якому коефіцієнт довговічності (Кд) становить $0,42$. Це

свідчить про обмежений ресурс у порівнянні з іншими методами відновлення, однак дозволяє забезпечити необхідну експлуатаційну надійність за умови правильного технологічного виконання.

Оцінка техніко-економічної ефективності засвідчила перевагу електродугового зварювання, яке має вищий коефіцієнт K_e порівняно з газовим методом. Тому для усунення тріщин у зубчастій зоні обрано саме електродуговий спосіб наплавлення як більш раціональний.

З метою підвищення якості шва, зниження напружень у зоні наплавлення та мінімізації деформацій рекомендовано використовувати напівавтоматичне електродугове зварювання порошковим самофлюсуючим дротом марки ПАНЧ-11, який забезпечує стабільне горіння дуги, добру формування шва та високу зносостійкість відновленої поверхні.

2.2 Вибір технологічних баз для відновлення

У процесі відновлення центрувальних отворів вала сошки необхідно правильно обрати технологічні бази, які забезпечать точне встановлення деталі відносно оброблювального обладнання та збереження геометричної співвісності.

У даному випадку в якості базових поверхонь використовуються циліндрична частина шийки та торцева поверхня під зубчастий вінець. Такий підхід дає змогу жорстко зафіксувати деталь, а також забезпечити правильне положення осі обертання.

Установлення деталі здійснюється у трьохкулачковий самоцентрувальний патрон із торцевим упором. Це дозволяє досягти високої точності центрування перед розточуванням або шліфуванням центрувальних отворів.

Описану схему базування зображено на рисунках 2.1 та 2.2, де наведено положення заготовки в патроні та характер контакту з опорними поверхнями.

Під час виконання фрезерування шліцьових елементів на валу сошки в якості основних технологічних баз використовуються центрувальні отвори, що забезпечують точне розташування деталі у верстаті відносно осі обробки.

Такий принцип базування гарантує дотримання співвісності між шліцьовою частиною та іншими робочими поверхнями, зокрема шийками.

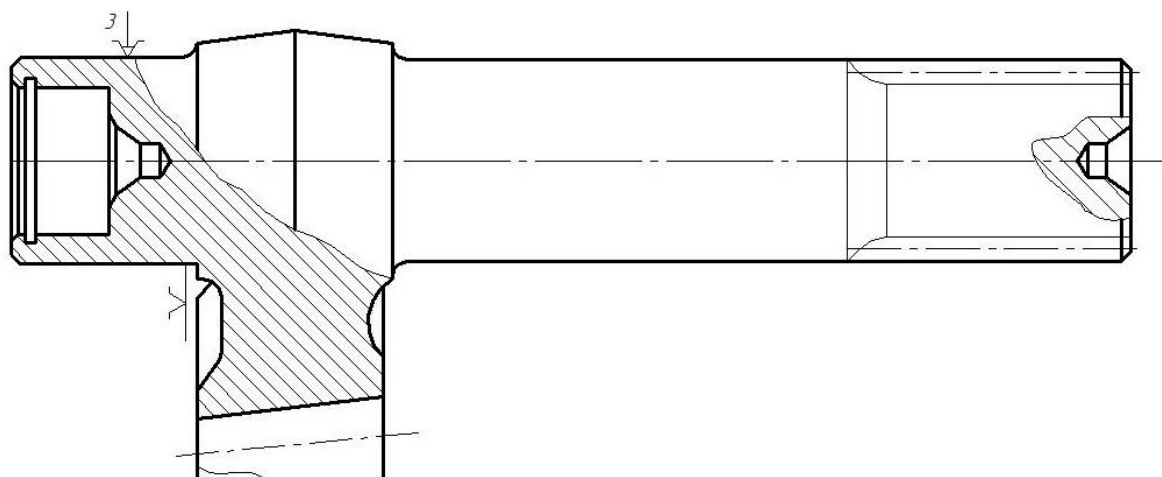


Рис. 2.1. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

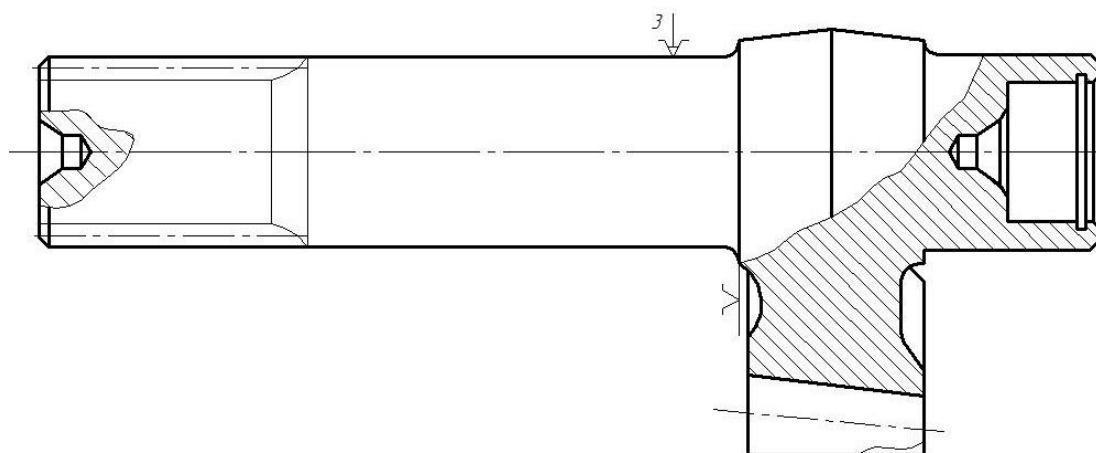


Рис. 2.2. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

На рисунку 1.3.представлено схему встановлення деталі з орієнтацією по центрувальних отворах, що дає змогу досягти високої точності фрезерування профілю шліців і мінімізувати похибки, які могли б виникнути при використанні допоміжних або неточних базових поверхонь.

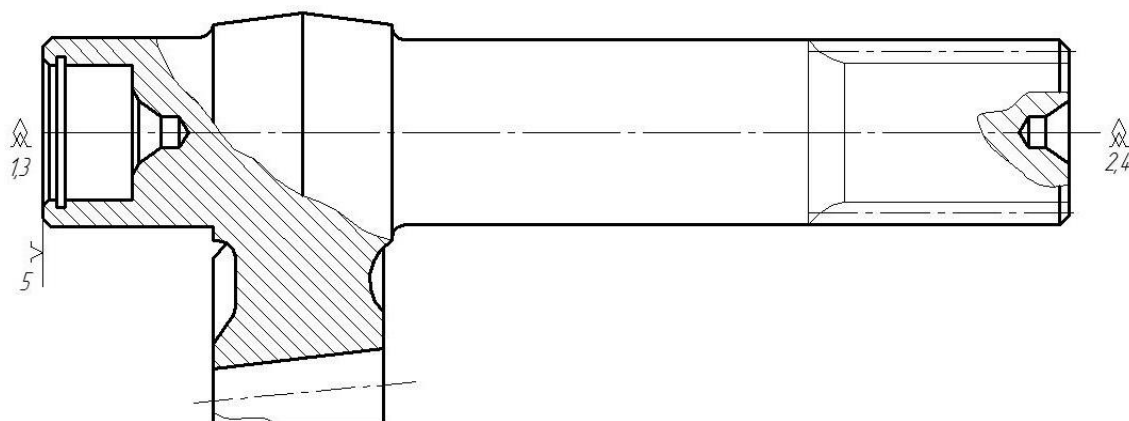


Рис. 2.3. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

2.3 Технологічний процес усунення дефектів

Для забезпечення ефективного відновлення працездатності вала сошки гідропідсилювача рульового керування формується поопераційна технологічна послідовність, що враховує специфіку кожного виявленого дефекту. Кожен тип ушкодження вимагає застосування відповідного методу відновлення з урахуванням геометрії деталі, режимів обробки та характеристик матеріалу основи.

У межах відновлювального процесу визначається раціональний порядок виконання операцій - від попередньої підготовки до фінішної обробки, зокрема для таких дефектів, як:

- знос шийок;
- спрацювання шліцьової частини;
- наявність тріщин у зоні зубчастого профілю.

Кожен із варіантів ремонту супроводжується контролем якості на проміжних етапах, що дозволяє гарантувати точність відновлення геометричних параметрів і відповідність деталі експлуатаційним вимогам після ремонту.

Дефект №1 - зношення шийки $\varnothing 39-0,026$ (твердість HRC 46...54).

З метою відновлення посадочної поверхні шийки вала сошки, яка зазнала зносу, передбачається наступна поопераційна технологічна послідовність:

Токарна операція. Виконати обробку центрувальних отворів у режимі "чистове точіння" до повного усунення слідів зносу або механічних ушкоджень, забезпечивши точне базування деталі для подальших етапів.

Шліфувальна операція (попередня). Здійснити первинне шліфування шийки з досягненням діаметра $\varnothing 38,7-0,041$ мм, що дозволить підготувати поверхню до нанесення відновного шару.

Операція залізнення. Виконати електролітичне осадження заліза на попередньо підготовлену поверхню шийки з доведенням зовнішнього діаметра до $\varnothing 39,4+0,52$ мм, із урахуванням припуску на остаточну обробку.

Шліфувальна операція (попереднє шліфування після залізнення). Провести попереднє шліфування нанесеного шару до розміру $\varnothing 39,1-0,036$ мм, дотримуючись рівномірності знімання по всій довжині шийки.

Шліфувальна операція (остаточна). Фінішне шліфування до номінального розміру $\varnothing 39,0-0,026$ мм із забезпеченням необхідного параметра шорсткості та геометричної точності відповідно до технічних вимог.

Дефект №2 – Зношення шліців по ширині, розмір $d = 1,855-0,02$; твердість HRC 46...54.

З метою повного відновлення геометрії та функціональності шліцьової частини вала сошки розроблено технологічну послідовність операцій, що передбачає як механічну, так і термічну обробку:

Токарна обробка (центрування). Обробити центрувальні отвори в режимі чистового точіння до повного усунення слідів деформації або зносу, з метою забезпечення точного базування деталі в наступних операціях.

Токарна обробка (підготовка під наплавлення). Зрізати зношену шліцьову частину до розміру $d = 36-0,36$ мм, формуючи циліндричну поверхню під відновне наплавлення.

Дугове наплавлення. Провести наплавлення дефектної зони: спочатку - поздовжніми, а потім - кільцевими швами з дотриманням діаметра $d = 41+1,2$ мм, постійно видаляючи шлак з поверхні до повного охолодження. Застосування комбінованих швів забезпечує рівномірність шару та надійну адгезію до основного металу.

Токарна обробка (чорнова). Обточити наплавлений шар до діаметра $d = 38,2-0,036$ мм, створюючи припуск під фрезерування шліцьового профілю.

Фрезерування шліців. Обробити шліцьові канавки відповідно до номінального профілю, забезпечуючи ширину паза $b = 1,855-0,02$ мм та дотримання симетричності профілю.

Гартування шліцьової частини. Здійснити нагрів шліців до температури $920\text{ }^{\circ}\text{C}$ в індукторі з подальшим охолодженням у масляній ванні, що забезпечує підвищення поверхневої твердості.

Відпускання. Виконати відпускання шліцьової частини при температурі 250 °С з охолодженням на повітрі для зняття внутрішніх напружень та стабілізації мікроструктури.

Шліфувальна операція (фінішна). Провести остаточне шліфування зовнішнього діаметра шліцьової поверхні до розміру $d = 38-0,026$ мм, дотримуючись необхідного класу шорсткості та точності.

Дефект №3 – Тріщини на поверхні зуба. Для усунення тріщин у зоні зубчастого профілю вала сошки передбачається послідовність операцій, яка включає підготовку дефектної ділянки, зварювання та остаточне формування поверхні. Наведений нижче маршрут дозволяє ефективно локалізувати та ліквідувати тріщини без зниження міцності деталі:

Слюсарна операція (підготовка країв тріщини). Механічним способом видалити оксидний шар, задирки та напливи металу вздовж країв тріщини. Зачистка проводиться з урахуванням мінімального зняття металу, щоб уникнути поглиблення дефекту.

Свердлильна операція (зупинка тріщини). Висвердлити два отвори діаметром $d = 1,6+0,2$ мм на кінцях тріщини для зменшення напружень у зоні концентраторів та запобігання її подальшому розповсюдженню. Свердління виконується з точною прив'язкою до кінцевих точок тріщини.

Зварювальна операція (усунення дефекту). Провести зварювання по лінії тріщини за відповідною технологією (наприклад, ручне дугове або напівавтоматичне зварювання залежно від доступу та матеріалу). Забезпечити повне проплавлення зони дефекту та з'єднання з основним металом.

Слюсарна операція (фінішне формування поверхні). Виконати ручне або машинне зачищення зварного шва до рівня базової поверхні зуба, відновлюючи початкову форму профілю з урахуванням допусків.

2.4 Технологічний маршрут відновлення вала сошки

З метою забезпечення ефективного і раціонального відновлення функціональних поверхонь вала сошки гідропідсилювача рульового керування обрано оптимізований маршрут обробки, що передбачає логічну послідовність

операцій - від підготовчих до фінішних. Формування технологічного маршруту базується на принципі мінімізації кількості переналагоджень, забезпеченні високої точності базування та раціональному використанні обладнання.

Операція 005 – Токарна обробка (код 4110). Зміст операції: провести обробку центрувальних отворів у режимі "чисто", з повним видаленням слідів ушкоджень, зношування або задирок.

Призначення: забезпечити точне центрирування деталі для подальших операцій шліфування, наплавлення або фрезерування.

Установка: варіант А - установка в трикулачковий самоцентруючий патрон з упором у торець.

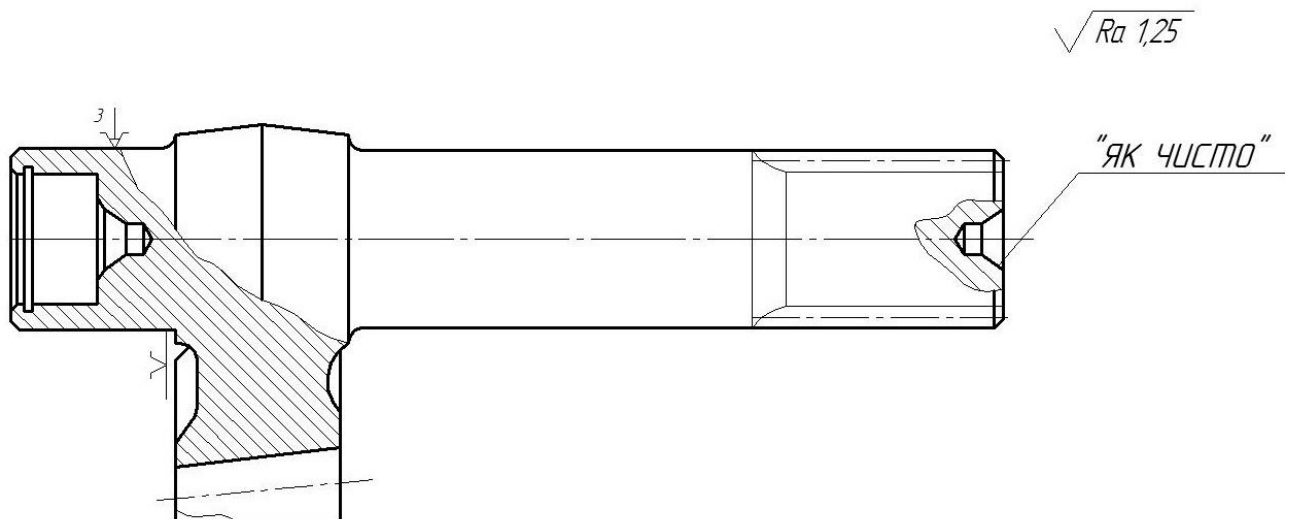


Рис. 2.5. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Установ Б

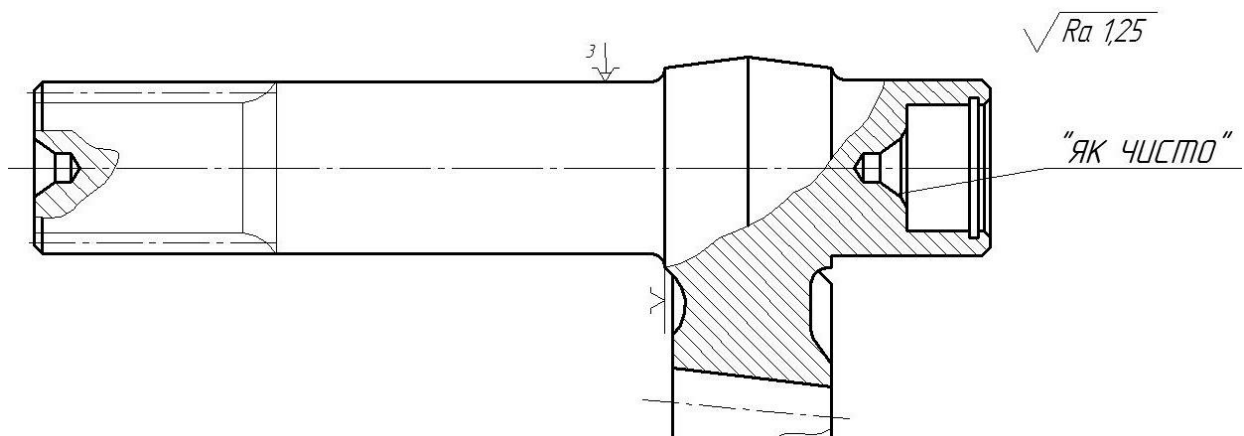


Рис. 2.6. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Операція 010 – Шліфувальна обробка (код 4130). Зміст операції: виконати попереднє шліфування шийки вала до розміру $\varnothing 38,7_{-0,041}^{}$ мм.

Призначення: сформувати рівномірну циліндричну поверхню, підготувавши її до нанесення відновлювального шару. Обробка повинна забезпечити заданий припуск та відповідність геометричних параметрів згідно з вимогами подальшої технологічної операції.

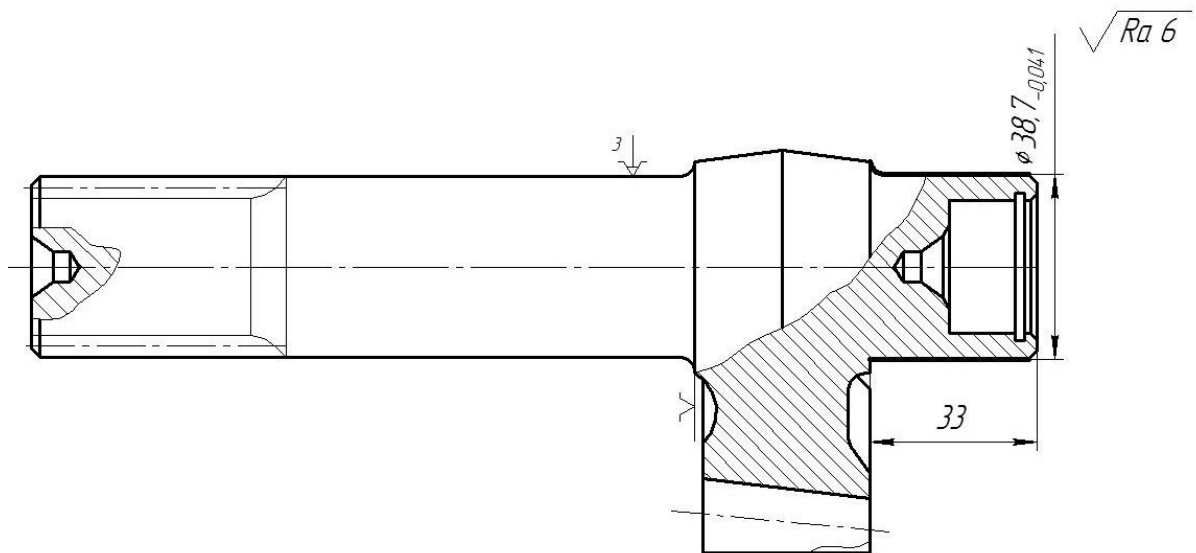


Рис. 2.6. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Операція 015 – Залізнення (код 7144). Зміст операції: виконати електролітичне осадження заліза на попередньо оброблену поверхню шийки.

Призначення: сформувати відновлювальний шар металу із забезпеченням діаметра $\varnothing 39,4^{+0,52}_{}$ мм, створивши припуск для наступної механічної обробки. Осаджений шар повинен мати рівномірну товщину, хорошу адгезію до основного металу та відповідати вимогам щодо зносостійкості.

Операція 020 – Шліфувальна обробка (код 4130). Зміст операції: провести попереднє шліфування відновленої поверхні шийки з досягненням розміру $\varnothing 39,1_{-0,036}^{}$ мм.

Призначення: усунути нерівності після залізнення, забезпечити точність геометрії та підготувати поверхню до фінішного шліфування з дотриманням заданого допуску.

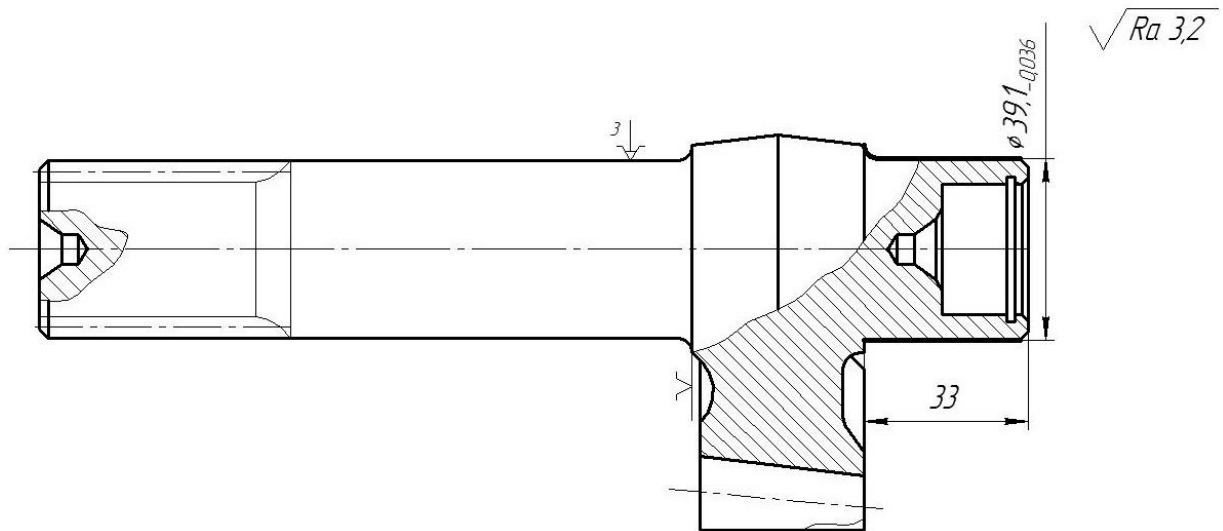


Рис. 2.8. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Операція 025 – Шліфувальна обробка (код 4130). Зміст операції: виконати остаточне шліфування шийки вала до досягнення розміру $\varnothing 39,0_{-0,026}$ мм.

Призначення: забезпечити остаточну геометричну точність і шорсткість поверхні згідно з технічними вимогами, відновивши номінальні параметри посадкової ділянки. Обробка повинна гарантувати якість поверхні, сумісну з умовами експлуатації та навантаженням у складі рульового вузла.

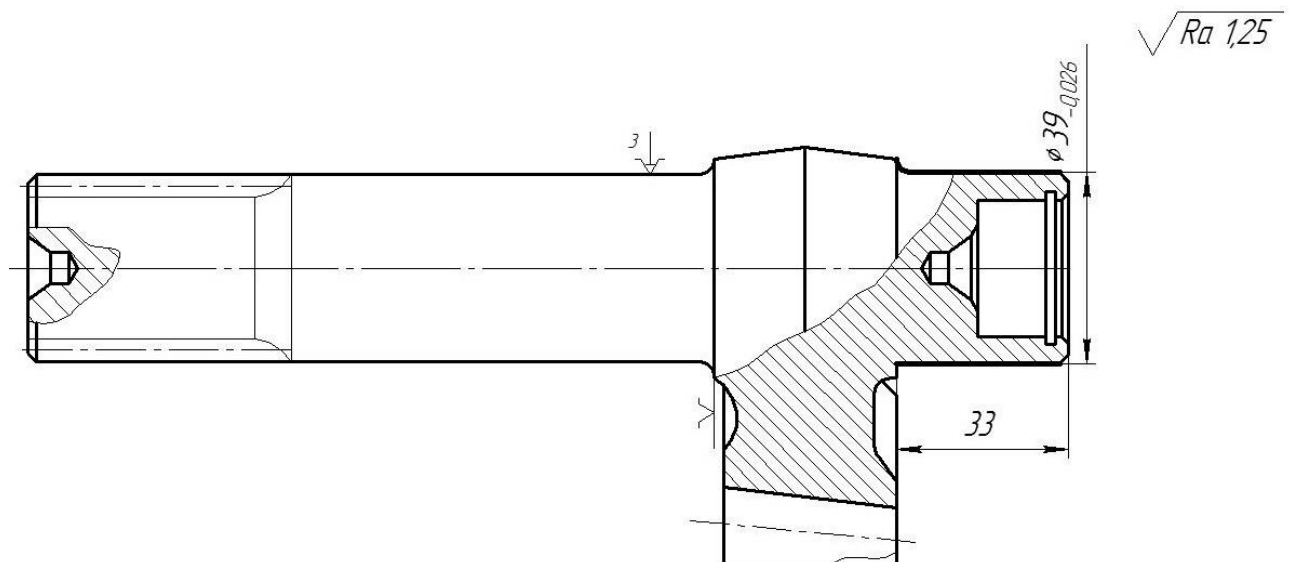


Рис. 2.9. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Операція 030 – Токарна обробка (код 4110). Зміст операції: здійснити зрізання залишків зношених шліців до діаметра $\varnothing 36,0_{-0,36}$ мм по зовнішній поверхні.

Призначення: сформувати циліндричну заготовлю з точними геометричними параметрами для подальшого наплавлення. Операція виконується з урахуванням забезпечення припуску на відновлення шліцьової частини, а також дотримання співвісності з базовими отворами.

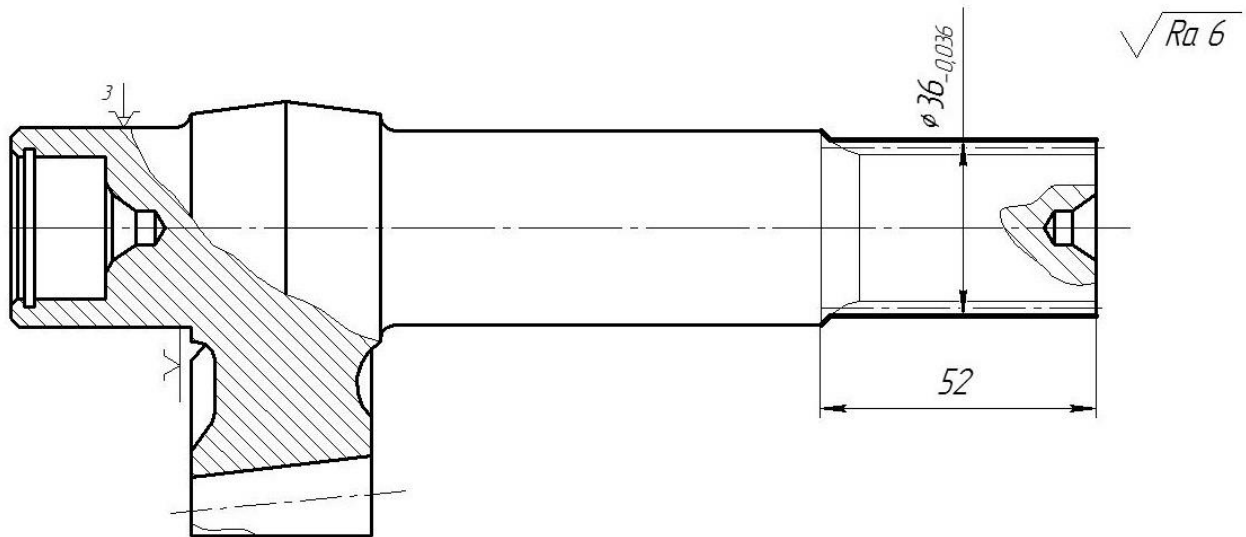


Рис. 2.10. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Операція 035 – Наплавлення (код 9300). Зміст операції: виконати відновлення шліцьової зони шляхом послідовного наплавлення - спочатку повздовжніми швами вздовж осі деталі, після чого нанести кільцеві шви до досягнення діаметра $\phi 40,0^{+1,2}$ мм.

Призначення: сформувати рівномірний шар наплавленого металу для подальшої механічної обробки. У процесі наплавлення необхідно безперервно видаляти шлак з робочої поверхні до повного охолодження шва, з метою запобігання утворенню включень і дефектів з'єднання.

Операція 040 – Токарна обробка (код 4110). Зміст операції: обточити відновлену поверхню шліцьової ділянки до проміжного діаметра $\phi 38,2_{-0,036}$ мм.

Призначення: підготувати деталь до формування шліцьового профілю шляхом фрезерування. Забезпечити необхідну геометричну точність, співвісність і чистоту поверхні після наплавлення.

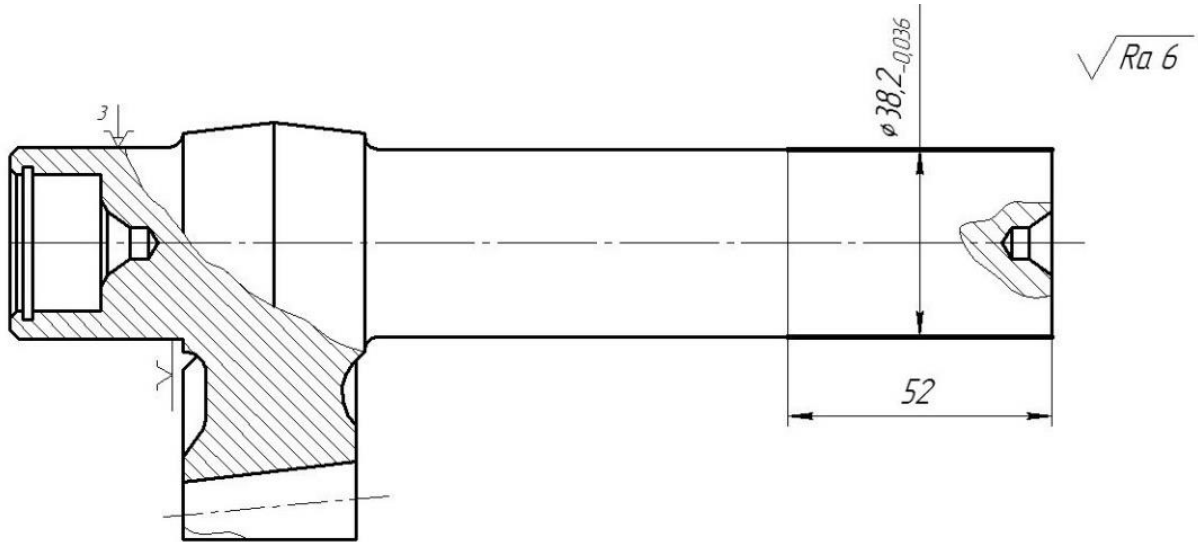


Рис. 2.11. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Операція 045 – Фрезерування шліців (код 4260). Зміст операції: здійснити формування шліцевого профілю на підготовленій поверхні методом фрезерування, забезпечуючи ширину паза $b = 1,855_{-0,02}$ мм.

Призначення: відновити геометрію шліців згідно з кресленням, дотримуючись параметрів профілю та міжосьової симетрії. Під час обробки необхідно забезпечити точне центрирування за базовими отворами та контроль розмірів по ширині та глибині шліцевої канавки для забезпечення надійного з'єднання в експлуатаційних умовах.

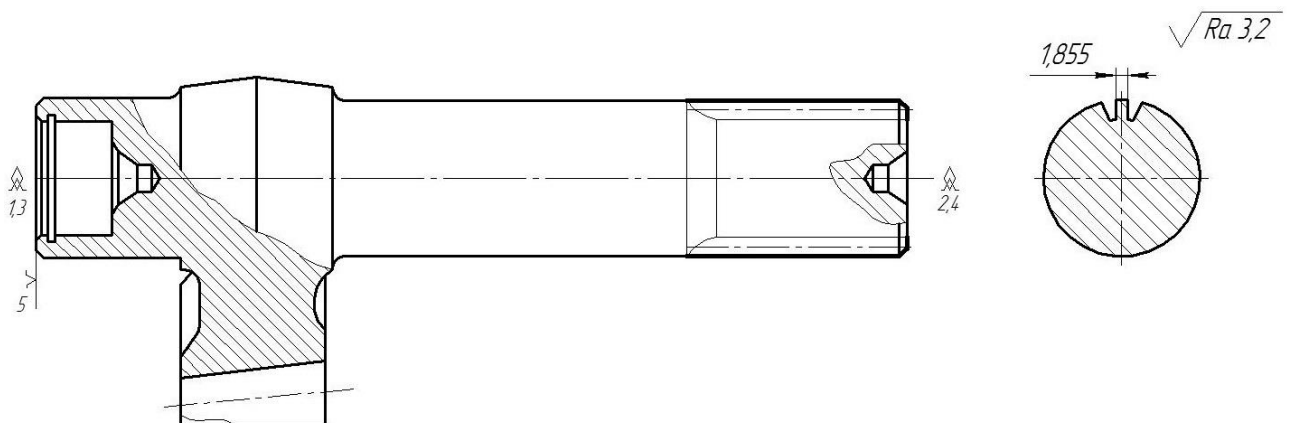


Рис. 2.12. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Операція 050 – Гартування (код 5130). Зміст операції: виконати індукційне нагрівання шліцевої зони до температури 920 °C з подальшим загартуванням у масляній ванні.

Призначення: забезпечити підвищення поверхневої твердості шліців і сформувати загартовану структуру з високим опором до зношування. Глибина гарту має відповідати нормативним вимогам до деталей, що працюють в умовах змінних навантажень.

Операція 055 – Відпускання (код 5140). Зміст операції: повторно нагріти загартовану шліцьову поверхню до температури 250 °С з подальшим охолодженням на повітрі.

Призначення: зменшити внутрішні залишкові напруження, стабілізувати структуру металу та запобігти утворенню тріщин під час експлуатації. Відпуск забезпечує баланс між твердістю та в'язкістю обробленої зони.

Операція 060 – Шліфування (код 4130). Зміст операції: виконати фінішне шліфування зовнішнього діаметра шліцьової частини до остаточного розміру $\varnothing 38,0_{-0,026}$ мм.

Призначення: досягнення заданої геометричної точності та якості поверхні, необхідної для взаємодії з відповідною частиною з'єднання, забезпечення точного посадкового діаметра та відповідності нормам шорсткості.

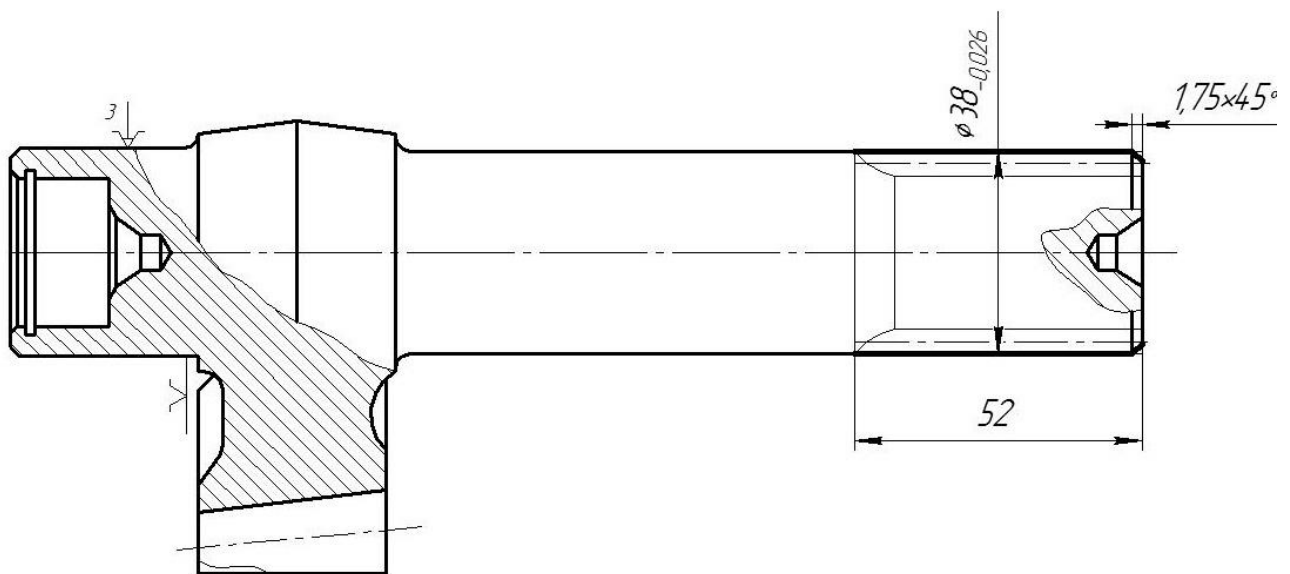


Рис. 2.13. Вал сошки гідро підсилювача рульового керування.

Операція 065 – Слюсарна обробка (код 0190)

Зміст операції: виконати попередню механічну зачистку зони дефекту - акуратно обробити краї тріщини, видаливши задирки, оксидний шар та інші нерівності.

Призначення: забезпечити візуальне виявлення меж тріщини та підготувати поверхню до подальших технологічних дій із мінімальним зняттям металу.

Операція 070 – Свердлильна (код 4120). Зміст операції: просвердлити по одному отвору діаметром $d = 2,0+0,1$ мм на обох кінцях тріщини.

Призначення: запобігти подальшому розповсюдженню тріщини під дією експлуатаційних навантажень шляхом розсіювання напружень на її кінцях.

Операція 075 – Зварювання (код 9100). Зміст операції: виконати зварювання виявленої тріщини за технологією ручного дугового або напівавтоматичного зварювання з підбором зварювального матеріалу, сумісного з основним металом.

Призначення: відновити суцільність матеріалу в зоні дефекту та забезпечити міцність з'єднання, еквівалентну основному металу.

Операція 080 – Слюсарна обробка (код 0190). Зміст операції: остаточно зачищати зварену поверхню до рівня профілю зуба, забезпечуючи плавний перехід без виступів та дефектів.

Призначення: надати відновленій зоні необхідну форму, відповідну початковому контуру, з дотриманням вимог до шорсткості та точності.

2.5 Вибір обладнання та технологічного оснащення

Відновлення вала сошки гідропідсилювача рульового керування передбачає виконання низки технологічних операцій, кожна з яких потребує застосування спеціалізованого устаткування, інструментів та засобів оснащення. Обладнання підбиралося з урахуванням типу обробки, класу точності, а також кваліфікаційних вимог до виконавця. Основою для прийняття рішень слугували чинні державні стандарти, галузеві нормативи й довідкова технічна література.

Усього для реалізації повного циклу відновлення передбачено 16 технологічних операцій, які охоплюють: токарну та шліфувальну обробку, наплавлення, фрезерування, термічну обробку, слюсарні та зварювальні роботи. Для кожного етапу обрано відповідне обладнання, згідно з категорією операції, а також засоби вимірювання і контролю, що дозволяють досягти заданої точності обробки.

Нижче представлено узагальнену інформацію про типові обладнання, інструменти, оснащення та фахових виконавців для окремих груп операцій:

Токарна обробка (операції 005, 030, 040): верстати моделі 16K20, патрони, центри, різці T15K6, штангенциркулі для проміжного контролю. Виконавці - токарі 2–3 розряду.

Шліфування (операції 010, 020, 025, 060): круглошліфувальні верстати 3У142, повідкові патрони, шліфувальні круги відповідних абразивів (25А, 15А, 24А), індикаторні скоби С1, виконавці - шліфувальники 3–5 розряду.

Гальванічне залізнення (операція 015): установка електролітичного натирання, гальванічні розчини, допоміжні пристосування, контроль виконання за допомогою штангенциркуля ЩЦ-1-125.

Наплавлення (операція 035): напівавтоматичне дугове наплавлення під флюсом на верстаті У-653, з використанням електрода Нп-30ХГСА і флюсу АН-20.

Фрезерування шліців (операція 045): шліцефрезерний верстат 5350, черв'ячна чистова фреза, калібри шліцевих з'єднань.

Термічна обробка (операції 050, 055): установка СВЧ ЛГПЗ-60, захисне термостійке спорядження (окуляри, рукавиці, щипці), оператор - терміст 3-го розряду.

Слюсарні роботи (операції 065, 080): універсальні верстаки, напилки, спеціальні затискачі - під керівництвом слюсарів 2-го розряду.

Свердлильні операції (операція 070): радіально-свердлильний верстат 2Е52, свердла Р6М5, технологічне пристосування - виконавець свердлувальник 2-го розряду.

Зварювання тріщин (операція 075): стіл зварника ССН-3, установка А-825М, дріт ПАНЧ-11 ($\varnothing 1,8$ мм), допоміжне оснащення, виконавець - електрозварник 2-го розряду.

Такий підбір устаткування забезпечує не лише відповідність технологічним вимогам, а й дозволяє досягти високої якості відновлення при оптимальних витратах часу й ресурсів.

2.6 Розрахунок припусків на обробку

З метою забезпечення необхідної точності відновлення поверхні шийки вала сошки, виконується детальний розрахунок технологічних припусків для кожного етапу обробки. Розрахунки проводяться для поверхні, яка відновлюється методом електролітичного залізнення, із подальшим механічним обробленням.

Об'єктом відновлення є циліндрична поверхня шийки з номінальним розміром $d_0 = 39$ мм. Технічні вимоги передбачають дотримання допуску $\delta_0 = -0,026$ мм, що відповідає 6-му квалітету точності.

Побудова міжопераційного розміру проводиться у зворотному напрямку: від остаточного чистового шліфування до попереднього шліфування до залізнення до підготовчої механічної обробки.

На кожному етапі формується необхідний технологічний припуск, який включає умовно допустимі похибки установки, деформацій та знімання матеріалу.

Таким чином, розрахунок припусків є критично важливим для: забезпечення номінального розміру у фінішній операції; гарантування товщини відновного шару; збереження геометричної точності та відповідності вимогам по шорсткості.

Розрахунок припусків на відновлення шийки вала

Відповідно до технологічних вимог припускається, що гранично допустимий діаметр шийки без проведення ремонту складає $d_{др} = 38,95$ мм.

1. Технологічна схема процесу відновлення поверхні

Відновлення зношеної шийки виконується за наступною послідовністю переходів:

Попереднє шліфування для виправлення геометричної форми – отримання розміру $d_{зг}$;

Нанесення відновного шару (залізнення) – досягнення розміру $d_{нар}>$;

Механічне попереднє шліфування – встановлення розміру d_1 ;

Фінішне шліфування – отримання остаточного розміру d_2 , який відповідає номінальному значенню $d_d = 39-0,026$ мм.

2. Визначення припусків на окремі етапи обробки

На кожному з етапів передбачається дотримання таких значень технологічних припусків:

На шліфування з метою усунення дефектів форми: $z_{тф} = 0,25$ мм;

На механічне оброблення після процедури залізнення: $z_{мін} = 0,40$ мм;

На попереднє шліфування: $z_1 = 0,25$ мм;

На чистове (остаточне) шліфування: $z_2 = 0,10$ мм.

3. Завдання розрахунку

Фінальний розмір після завершального шліфування визначається як:

$$d_2 = d_d = 39-0,026 \text{ мм.}$$

4. Визначення міжопераційного розміру

Розрахунок розміру після попереднього шліфування, тобто d_1 , здійснюється за допомогою спеціально виведеного рівняння, яке враховує попередні припуски. Це дозволяє обґрунтовано встановити параметри міжопераційного діаметра, необхідного для забезпечення точності фінішного розміру на завершальному етапі обробки.

$$d_1 = d_2 + z_2 \quad (2.1)$$

$$d_1 = 39 + 0,1 = 39,1.$$

5). Визначення загального припуску на обробку. Сумарний припуск на механічну обробку, позначений як $z_{заг}$ визначається шляхом застосування спеціалізованого розрахункового виразу. Ця формула адаптована до умов відновлення поверхонь і забезпечує можливість отримання точних числових значень для наступних технологічних етапів. Застосування цього розрахунку

гарантує дотримання необхідних геометричних параметрів деталі у процесі її відновлення

$$z_{\text{заг}} = z_1 + z_2; \quad (22)$$

$$z_{\text{заг}} = 0,25 + 0,1 = 0,35.$$

6). Визначення діаметра заготовки. Розрахунок номінального діаметра вихідної заготовки здійснюється з використанням адаптованого розрахункового рівняння, спеціально розробленого для даного виду обробки. Застосування цієї формули дозволяє визначити вихідні розміри, необхідні для забезпечення всіх технологічних припусків і досягнення встановлених геометричних параметрів деталі після завершення операцій механічної обробки.

$$d_{\text{зг}} = d_{\text{др}} - z_{\text{гф}}; \quad (2.3)$$

$$d_{\text{зг}} = 38,95 - 0,25 = 38,70.$$

7). Визначення товщини відновлювального шару. Враховуючи прийняте значення діаметра заготовки $d_{\text{зг}} = 38,7$ мм, виконуємо розрахунок товщини відновленого (нарощеного) шару металу $h_{\text{нар}}$. Для цього застосовується спеціалізована формула, адаптована до вимог даної технології відновлення поверхонь. Вказане рівняння дозволяє отримати точні числові параметри, необхідні для забезпечення відповідності геометричних розмірів деталі вимогам креслення та технологічної точності після завершення процесу механічної обробки.

$$h_{\text{нар}} = (d_{\text{д}} - d_{\text{зг}}) + z_{\text{заг}}; \quad (3.4)$$

$$h_{\text{нар}} = (39 - 38,7) + 0,35 = 0,65.$$

8). Оцінка відповідності товщини відновленого шару мінімальному припуску на обробку. Порівняльний аналіз отриманого значення товщини нарощеного шару $h_{\text{нар}}$ із нормативним мінімальним припуском на механічну обробку z_{min} , встановленим після залізнення, демонструє:

$h_{\text{нар}} = 0,65$ мм $>$ $z_{\text{min}} = 0,4$ мм, що відповідає вимогам, зазначеним у довідкових таблицях. Отже, забезпечено необхідний запас металу для подальшого видалення шару з метою досягнення точних розмірів та заданої якості поверхні.

9). Розрахунок діаметра після залізнення. Враховуючи виконання зазначеної умови, визначення діаметра шийки після нарощування виконується

згідно зі спеціалізованим рівнянням, що розроблене для проведення обґрунтованого розрахунку параметрів відновленої поверхні. Ця формула забезпечує достовірне числове обґрунтування геометричних параметрів, необхідних для реалізації наступних етапів обробки в межах заданої допускової схеми.

$$d_{\text{нар}} = d_{\text{зг}} + h_{\text{нар}}; \quad (2.5)$$

$$d_{\text{нар}} = 38,7 + 0,65 = 39,35.$$

10). Уточнення припуску на первинну механічну обробку. З урахуванням прийнятого діаметра поверхні після залізнення $d_{\text{нар}} = 39,4$ мм, розрахована товщина нанесеного шару становить $h_{\text{нар}} = 0,7$ мм.

На основі цього значення виконується коригування припуску на перший етап механічної обробки. Визначення уточненого припуску здійснюється із застосуванням спеціалізованої формули, розробленої для точного обчислення геометричних параметрів відновленої поверхні:

$$z_1 = d_{\text{нар}} - d_1; \quad (2.6)$$

$$z_1 = 39,4 - 39,1 = 0,3.$$

11). Визначення допусків для розрахованих розмірів. На підставі проведених розрахунків встановлюються граничні відхилення для відповідних ділянок обробки. Для розміру $d_1 = 39,1$ мм, що отримується після виконання попереднього шліфування, приймається допуск за 8-м квалітетом точності, який дорівнює $\delta_2 = 0,036$ мм.

Що стосується розміру $d_{\text{нар}} = 39,4$ мм, який відповідає діаметру після нарощування матеріалу на поверхню деталі, то його допуск обчислюється за допомогою спеціалізованого аналітичного виразу. Застосування відповідної формули дає можливість отримати числові значення, які забезпечують необхідну точність для подальших технологічних переходів і гарантовану якість відновленої поверхні:

$$\delta_{\text{нар}} = (0,2 \dots 0,3) h_{\text{нар}}; \quad (2.7)$$

12). Підсумування розрахунків припусків та допусків на всіх етапах обробки.

Допуск на діаметр після нарощування розраховується за формулою:

$$\delta_{\text{нар}}=(0,2\dots0,3)\cdot h_{\text{нар}}=(0,2\dots0,3)\cdot0,7=0,14\dots0,21$$

З урахуванням технологічної доцільності приймається допуск $\delta_{\text{нар}}=0,26$.

Отже, діаметр шийки після операції нарощування становить $d_{\text{нар}}=39,4+0,26$

Для діаметра $d_{\text{зг}} = 38,7$ мм, що відповідає заготовці перед попереднім шліфуванням, приймаємо допуск $\delta_1 = 0,041$ мм відповідно до 9-го квалітету точності. Таким чином, розмір заготовки на даному етапі визначається як:

$$d_{\text{зг}}=38,7-0,041=38,659$$

На підставі виконаних розрахунків, остаточна таблиця розмірів на кожному етапі технологічного маршруту виглядає так:

Шліфування для усунення геометричних деформацій $d = 38,7^{-0,041}$.

Нарощування шару методом залізнення $d = 39,4^{+0,26}$.

Попереднє шліфування $d = 39,1^{-0,036}$.

Остаточне чистове шліфування $d = 39,0^{-0,026}$.

Таким чином, виконано повний цикл розрахунку припусків для технологічного процесу відновлення шийки вала. Усі значення визначені з використанням нормативно-довідкових джерел, що дозволяє гарантувати відповідність заданим параметрам точності та якості.

2.7 Розрахунок параметрів різання та тривалості основного технологічного часу

Операція 030 – Токарна обробка. Завданням є механічне зняття шару матеріалу в зоні розміщення шліців із забезпеченням діаметра $d = 36^{-0,36}$ мм на довжині $l = 52$ мм. Обробка повинна відповідати 8-му квалітету точності, що передбачає чистове точіння з досягненням шорсткості поверхні $Ra = 5$ мкм.

Вихідні дані для розрахунку:

Матеріал оброблюваної деталі: сталь 40ХН2МА.

Тимчасовий опір розриву: $\sigma_b = 730$ МПа.

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20.

Інструмент: прохідний відігнутий різець типу T15K6 згідно з рекомендаціями.

Перший технологічний перехід передбачає обробку циліндричної поверхні валу, і його параметри визначаються із застосуванням спеціалізованого розрахункового алгоритму, який базується на дослідженнях механіки різання. Такий підхід дозволяє з високою точністю визначити оптимальні значення глибини різання, подачі, швидкості різання та забезпечити необхідну якість обробленої поверхні.

$$t = z / 2; \quad (2.8)$$

$$t = 3 / 2 = 1,5$$

Визначення подачі інструмента. Згідно з рекомендаціями [26], для чистового точіння із застосуванням різця, що має радіус при вершині $r = 0,8$ мм, рекомендовано орієнтовне значення подачі $s = 0,33$ мм/об, яке визначене без урахування коригувальних коефіцієнтів.

Уточнення параметрів з урахуванням специфіки обробки

Для точнішого врахування технологічних умов проводиться коригування подачі з урахуванням поправочного коефіцієнта. Отже, ефективна глибина різання t , яка відповідає половині загального припуску на обробку, визначається за виразом:

$$t = s \cdot K = 0,33 \cdot 0,45 = 0,1485 \text{ мм.}$$

Узгодження з конструктивними можливостями обладнання. Перевірка значення подачі $s = 0,33$ мм/об за паспортними характеристиками верстата 16K20 свідчить про відсутність цього значення в стандартному ряду. Тому приймаємо фактичне значення подачі, що відповідає найближчому стандарту:

$$s_{\phi} = 0,15 \text{ мм/об.}$$

Розрахунок швидкості різання. Швидкість різання v визначається відповідно до аналітичного виразу, що враховує властивості оброблюваного матеріалу, параметри інструменту та умови обробки. Формула, застосована в розрахунках, була адаптована на основі, і дозволяє отримати точні числові значення для забезпечення заданих параметрів якості обробленої поверхні.

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v \quad (2.9)$$

Коефіцієнт швидкості різання C_v , а також показники ступенів m , x та y , що застосовуються при визначенні режимів обробки, приймаються відповідно до нормативних рекомендацій $C_v = 420$; $x = 0,15$; $y = 0,2$; $m = 0,2$.

Коефіцієнт K_v визначається за формулою [20,23,27]:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} \quad (2.10)$$

Для сталі визначається за створеною для цих розрахунків спеціальною формулою, яка в подальшому дає дані для отримання числових значень, що в свою чергу забезпечують виконання завдання:

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v}, \quad (2.11)$$

Для хромистої сталі, яка обробляється різцями з твердого сплаву $K_r = 0,95$; $n_v = 1$.

$$K_{mv} = 0,95 \left(\frac{750}{730} \right)^1 = 0,97$$

Для поверхні без корки $K_{mv} = 1$.

Для конструкційної сталі, яка обробляється різцем Т15К6 $K_{mv} = 1$.

$$K_v = 1,087 \cdot 1 \cdot 1 = 1,087.$$

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 0,9^{0,15} \cdot 0,15^{0,2}} \cdot 0,97 = \frac{420}{2,27 \cdot 0,98 \cdot 0,7} \cdot 0,97 \approx 265 \text{ м / хв}$$

Визначення частоти обертання заготовки. Частота обертання деталі обчислюється з використанням спеціалізованої формули, розробленої для точного розрахунку параметрів різання. Ця формула дозволяє одержати числові значення, необхідні для забезпечення належного режиму роботи верстата, що відповідає технічним вимогам до обробки. Методика враховує взаємозв'язок між швидкістю різання, діаметром оброблюваної поверхні та режимом функціонування верстатного обладнання.

$$n = \frac{1000v}{\pi d}; \quad (2.12)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 265}{3,14 \cdot 36} = 2350 \text{ хв}^{-1}$$

Порівняння теоретичного значення частоти обертання з технічними характеристиками верстата

Розраховану частоту обертання шпинделя зіставляємо з можливими значеннями, вказаними в технічному паспорті токарного верстата моделі 16K20. Для подальших розрахунків приймаємо найближче стандартне значення частоти обертання шпинделя $n_\phi = 2360$ об/хв

Обчислення фактичної швидкості різання

Фактичне значення швидкості різання визначається відповідною формулою, адаптованою для практичного застосування в умовах виробництва. Її використання забезпечує отримання числових даних, необхідних для точного визначення параметрів обробки, що гарантують відповідність умовам точності й шорсткості поверхні відповідно до стандартів.

$$v_\phi = \frac{\pi d n_\phi}{1000} ; \quad (2.13)$$

$$v_\phi = \frac{3,14 \cdot 36 \cdot 2360}{1000} = 267 \text{ м / хв}$$

Обчислення основного машинного часу обробки. Розрахунок основного часу, необхідного для виконання заданої технологічної операції, проводиться із застосуванням спеціалізованої розрахункової формули, сформованої на основі аналітичних та емпіричних залежностей. Ця формула забезпечує можливість отримання достовірних числових значень, що є ключовими для точного планування тривалості обробки та оптимізації виробничого процесу:

$$t_o = \frac{L_p}{s_\phi n_\phi} i ; \quad (2.14)$$

де t_o – основний (машинний) час, хв.;

L_p – розрахункова довжина обробки, мм;

n_ϕ – частота обертання деталі або інструменту, хв.⁻¹;

s_ϕ – величина подачі деталі, мм/об;

i – число проходів інструменту, $i = 1$.

Обчислення розрахункової довжини зони обробки. Довжина ділянки, яка підлягає обробці в межах технологічної операції, визначається на основі спеціалізованої формули, розробленої для даного типу розрахунків. Цей вираз дозволяє отримати числові параметри, необхідні для подальшого планування

режимів різання та раціональної організації обробного процесу, з урахуванням технічних вимог і допусків:

$$L_p = l + l_x; \quad (2.15)$$

де l – дійсна довжина обробки, $l = 52$ мм;

$$l_x = y + \Delta; \quad (2.16)$$

де y – величина врізання інструменту визначається за створеною для цих розрахунків спеціальною формулою, яка в подальшому дає дані для отримання числових значень, що в свою чергу забезпечують виконання завдання:

$$y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi; \quad (2.17)$$

$$y = 0,5 \cdot 1,17 = 0,585;$$

Δ – величина перебігу інструменту $\Delta = 1 \dots 2$ мм. Приймаємо $\Delta = 1$.

$$L_p = 36 + 0,97 + 1 = 37,97 \text{ мм},$$

$$t_o = \frac{37,97}{0,15 \cdot 2360} \cdot 1 = 0,107 \text{ хв}$$

Результати розрахунків заносимо у зведену таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Результати розрахунків токарної операції.

Номер і найменування операції	t , мм	s , мм/об	v , м/хв	n , хв ⁻¹	T_o , хв
030 Токарна	0,5	0,15	267	2360	0,107

Процес визначення оптимальних режимів для операції електрохімічного наросування (залізнення) здійснюється із використанням табличного підходу, базованого на типових рекомендаціях щодо умов нанесення покриттів. Результати обчислень систематизовано у вигляді інтегрованої таблиці 2.2, що дозволяє зручно зіставити вихідні дані з призначеними технологічними параметрами.

Під час виконання операцій наплавлення вибір параметрів режиму обробки здійснюється із застосуванням табличного способу, що ґрунтується на нормативно-технологічних даних щодо зварювально-відновлювальних процесів. Отримані значення зведено у таблицю 7.4, яка відображає як

розрахункові величини, так і фактично прийняті режимні параметри наплавлення.

Таблиця 2.2. Систематизація розрахункових та заданих режимів під час проведення залізнення.

Номер і найменування операції	h , мм	γ , г/см ³	D_k , А/дм ²	c , г/А·год	η , %	T_o , хв
015 Залізнення	0,7	7,8	200	1,042	95	16,2

Таблиця 2.3. Структуровані дані щодо розрахунку та встановлення режимів наплавлення.

Номер і найменування операції	d , мм	h , мм	s , мм/об	V_{np} , м/хв	I , А	n , хв ⁻¹	T_o , хв
035 Наплавлення	2	2	4	1,6	180	3,4	3,48

Усі розрахункові дані, отримані при визначенні технологічних параметрів для виконання операції зварювання, систематизовано та подано у вигляді підсумкової таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Підсумкові показники технологічного розрахунку зварювальної операції.

Номер і найменування операції	Сила зварювального струму I , А	Швидкість зварювання мм/сек	Коефіцієнт розплавлення a_p , г/А·год	Діаметр електроду, мм	T_o , хв
075 Зварювання	220	8	-	1,8	0,47

Техніко-технологічні характеристики режимів різання, визначені для інших стадій механічної обробки деталі, були встановлені шляхом табличного розрахунку та згруповані у форматі зведеної таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Параметри режимів різання для допоміжних операцій
механічної обробки.

Номер і найменування операції	t,мм	s,мм/об,	V,м/хв	n,хв ⁻¹	To, хв
005 Токарна	-	-	-	-	0,02
010 Шліфувальна	0,15	15	86	280	0,101
020 Шліфувальна	0,15	15	35	210	0,167
025 Шліфувальна	0,05	15	35	190	0,173
040 Токарна	1	0,25	260	1600	1,09
045 Фрезерування	3	0,6	12	100	2,04
050 Гартування	-	-	-	-	0,7
055 Відпускання	-	-	-	-	0,7
060 Шліфувальна	0,1	15	35	190	0,185
065 Слюсарна	0,05	-	-	-	0,8
070 Свердлильна	1,6	0,1	28	1400	0,029
080 Слюсарна	0,05	-	-	-	0,8

2.8 Визначення норм часу

В межах даного етапу здійснюється обґрунтований розрахунок норми часу для виконання токарної операції №030. Плановий обсяг річного виробництва деталей становить $N=3500$ одиниць, а доступний річний фонд робочого часу дорівнює $F=2003$ годин. Тривалість основного технологічного циклу на даній операції визначена як $T_o=0,186$ хвилини.

На першому етапі необхідно обчислити тривалість допоміжного часу, використовуючи спеціалізовану формулу, що була розроблена для такого типу технологічних розрахунків. Застосування цієї формули дозволяє отримати точні числові значення, які забезпечують коректне визначення тривалості кожного елементу операційного циклу згідно з методикою.

$$T_{\text{дон}} = T_{\text{вс}} + T_{\text{нр}}, \quad (2.18)$$

де $T_{\text{вс}}$ – час на встановлення і зняття деталі.

При встановленні деталі масою до 3 кг у центрах з люнетом і без вивірювання $T_{вс} = 0,35$ хв.

$T_{пр}$ – час, пов'язаний з виконанням проходу.

Під час виконання токарної обробки деталі, яка виготовляється відповідно до п'ятого класу точності, на верстаті з висотою центрів 200 мм, нормативне значення допоміжного часу становить $T_{пр} = 0,5$ хвилини.

$$T_{дон} = 0,35 + 0,5 = 0,85 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується із застосуванням спеціально адаптованої формули, яка була розроблена для забезпечення точності обчислень у межах даного технічного завдання. Ця формула дозволяє отримати конкретні числові значення, необхідні для визначення нормативів обробки, що, своєю чергою, гарантує виконання технологічних вимог :

$$T_{он} = T_o + T_{дон}, \quad (2.19)$$

$$T_{он} = 0,186 + 0,85 = 1,036 \text{ хв.}$$

Визначення додаткового часу здійснюється на основі розробленої для даного типу розрахунків спеціалізованої формули:

$$T_{доод} = T_{орг} + T_{вн} = \frac{T_{он}}{100} \cdot k, \quad (2.20)$$

де $T_{орг}$ – час на організаційно-технічне обслуговування, хв;

$T_{вн}$ – час на власні потреби робітника, хв.

У процесі виконання токарної обробки передбачається додатковий час, який враховується як 8 % від загального оперативного часу

$$T_{доод} = \frac{1,86}{100} \cdot 8 \approx 0,149 \text{ хв.}$$

Визначення підготовчо-заключного часу ($T_{пз}$). Підготовчо-заключний час обчислюється для умов, коли оброблювана деталь установлюється в центрах, використовується середній рівень підготовки верстатника, кількість інструментів у процесі наладки не перевищує двох, висота центрів становить 200 мм, а також передбачена заміна установчих пристроїв. За таких параметрів приймаємо значення підготовчо-заключного часу $T_{пз} = 15$ хв.

Обчислення штучного часу ($T_{шт}$). Штучний час на одну деталь визначається на основі спеціалізованого розрахункового рівняння, яке

забезпечує одержання достовірних числових значень та дозволяє врахувати вплив усіх релевантних технологічних параметрів. Цей розрахунок є необхідним етапом для встановлення нормативного часу, що використовується під час планування виробничого процесу.

$$T_{\text{ит}} = T_o + T_{\text{дон}} + T_{\text{дод}}, \quad (2.21)$$

$$T_{\text{ит}} = 0,186 + 0,85 + 0,149 = 1,185 \text{ хв.}$$

Подібним чином здійснюється визначення компонентів штучного часу, а також обчислення повного штучного й підготовчо-заклучного часу для кожної з наступних технологічних операцій.

Отримані значення впорядковуються та фіксуються у відповідній зведений таблиці 2.6, яка систематизує тривалість виконання окремих етапів обробки в межах заданого технологічного маршруту.

Таблиця 2.6. Узагальнення елементів штучного часу за операціями.

Номер і найменування операції	T_o або $T_{\text{ни}}$, хв	$T_{\text{дон}}$, хв	$T_{\text{он}}$, хв	$T_{\text{дод}}$, хв	$T_{\text{ит}}$, хв	$T_{\text{нз}}$, хв
005 Токарна	0,02	1,6	1,62	0,16	1,78	15
010 Шліфувальна	0,101	1,2	1,303	0,52	1,823	7
015 Залізнення	16,2	0,44	16,64	1,45	18,1	10
020 Шліфувальна	0,167	1,2	1,367	0,52	1,887	7
025 Шліфувальна	0,173	1,2	1,423	0,08	1,5	7
030 Токарна	0,107	0,85	0,957	0,36	1,317	15
035 Наплавлення	3,48	1	2,48	0,4	2,88	10
040 Токарна	1,09	0,85	1,94	0,36	2,3	15
045 Фрезерування	2,04	1,3	3,34	0,18	3,52	10
050 Гартування	0,7	1,2	1,9	0,24	2,14	7
055 Відпускання	0,7	1,2	1,9	0,24	2,14	7
060 Шліфувальна	0,185	1,2	1,385	0,08	1,465	7
065 Слюсарна	0,8	0,13	0,93	0,44	1,37	5
070 Свердлильна	0,42	3,1	3,142	0,28	3,35	5
075 Зварювання	0,47	2	2,4	1	3,47	10
080 Слюсарна	0,35	1,2	1,55	0,08	1,63	5

Здійснюємо розрахунок такту виготовлення деталей t_b , який визначається за спеціально адаптованим розрахунковим рівнянням.

Ця формула дозволяє отримати необхідні числові параметри, що, у свою чергу, забезпечують відповідність технологічного процесу заданим умовам виробничої програми та ефективності використання календарного фонду часу:

$$t_b = \frac{F_d \cdot 60}{N}, \quad (2.22)$$

$$t_b = \frac{2003 \cdot 60}{3500} = 34,3 \text{ хв/шт.}$$

Визначення середньої величини штучного часу здійснюється з використанням спеціалізованої формули, розробленої для виконання подібних розрахунків.

Отримане числове значення дозволяє з високим ступенем точності встановити тривалість виконання одиничної операції в середньому, що є важливим елементом при плануванні ритмічності виробничого процесу та забезпеченні заданого рівня продуктивності:

$$T_{шт_{cp}} = \frac{\sum T_{шт}}{m}, \quad (2.23)$$

$$T_{шт_{cp}} = \frac{1,78 + 1,823 + 18,1 + 1,887 + 1,5 + 1,317 + 2,88}{16} + \frac{2,3 + 3,52 + 2,14 + 2,14 + 1,465 + 1,37 + 3,35 + 3,47 + 1,63}{16} = 3 \text{ хв.}$$

Показник серійності k_c визначається на основі спеціально адаптованої формули, яка була створена для забезпечення точного чисельного аналізу виробничих умов. Застосування цього математичного виразу дозволяє отримати значення, що безпосередньо впливають на ефективність планування серійного виробництва та організацію обробних процесів відповідно до заданих обсягів випуску продукції.

$$k_c = \frac{t_b}{T_{шт_{cp}}}, \quad (2.24)$$

$$k_c = \frac{80,12}{3} = 26$$

Аналіз коефіцієнта серійності та визначення типу виробництва. Порівнюючи обчислене значення коефіцієнта серійності k_c , яке становить 16, з нормативними межами класифікації типів виробництва, встановлено, що оскільки дане значення не перевищує пороговий рівень 20, характер виробничого процесу відповідає умовам дрібносерійного виробництва.

Оцінка коефіцієнта K для підготовчо-заключного часу. Виходячи з визначеного типу виробництва, обираємо коефіцієнт K , що характеризує частку підготовчо-заключного часу у структурі загального технологічного циклу. Для дрібносерійного виробництва допустимим є діапазон $K = 0,14\text{--}0,18$. Враховуючи специфіку виробництва, приймаємо $K = 0,14$.

Розрахунок обсягів виробничої партії. Подальше визначення кількості деталей у виробничій партії n здійснюється на основі спеціалізованого розрахункового виразу, адаптованого для аналізу дрібносерійного типу виробництва. Цей вираз забезпечує отримання числових параметрів, необхідних для планування обсягу партії, що оптимізує витрати часу та ресурсів згідно з заданими умовами.

$$n = \frac{\sum T_{nz}}{K \cdot \sum T_{um}}, \quad (2.25)$$

$$n = \frac{15 + 7 + 10 + 7 + 7 + 15 + 10 + 15 + 7 + 7 + 7 + 7 + 5 + 5 + 10 + 5}{0,15 \cdot 56,394} \approx 18_{\text{шт.}}$$

Визначення штучно-калькуляційного часу. Для оцінки ефективності використання робочого часу при виготовленні однієї одиниці продукції проводимо розрахунок штучно-калькуляційного часу $T_{шк}$. Цей показник охоплює як оперативну, так і допоміжну складову часу та враховує особливості організації технологічного процесу. Обчислення здійснюється з використанням спеціалізованого аналітичного виразу, розробленого відповідно до нормативно-технічної документації, що дозволяє отримати точні кількісні характеристики, необхідні для подальшого планування та обґрунтування виробничих рішень

$$T_{шк} = T_{um} + \frac{T_{nz}}{n}, \quad (2.26)$$

$$T_{шк} = 1,317 + \frac{15}{18} = 2,09 \text{ хв.}$$

Оцінка штучно-калькуляційного часу для решти технологічних операцій. З метою повного охоплення тимчасових витрат на виконання кожного етапу технологічного процесу, проводиться обчислення штучно-калькуляційного часу $T_{\text{шк}}$ для всіх залишкових операцій. Розрахунок здійснюється відповідно до нормативної методики, з використанням відповідної формули. Отримані числові значення узагальнюються у зведеній таблиці 2.7.

Таблиця 2.7. Штучно-калькуляційний час за операціями технологічного маршруту

Номер і найменування операції	$T_{\text{шт}}$, хв	$T_{\text{шк}}$, хв
005 Токарна	1,78	2,61
010 Шліфувальна	1,823	3,9
015 Залізнення	18,1	18,93
020 Шліфувальна	1,887	2,35
025 Шліфувальна	1,5	1,96
030 Токарна	1,317	2,15
035 Наплавлення	2,88	3,54
040 Токарна	2,3	3,13
050 Гартування	3,52	3,98
055 Відпускання	2,14	2,606
060 Шліфувальна	2,14	2,606
065 Слюсарна	1,465	1,79
070 Свердлильна	1,37	1,7
075 Зварювання	3,35	4,01
080 Свердлильна	3,47	3,8

Аналіз виявлених дефектів дозволяє з упевненістю стверджувати, що виконані відновлювальні заходи відповідають технічним вимогам та були обґрунтовано реалізовані. З економічної точки зору придбання нового вала сошки є малодоцільним, оскільки його вартість становить близько 3800 грн з

урахуванням доставки. Натомість ремонтна відновна операція дозволяє зменшити витрати до приблизно 15% від ціни нової деталі, при цьому зберігаючи функціональну придатність виробу. Важливо забезпечити належний догляд за компонентом у процесі експлуатації - регулярне змащення, контроль робочого стану та недопущення перевантажень - що дозволить забезпечити його подальше ефективне використання.

2.9 Розрахунок параметрів системи рульового керування

У процесі розрахунку рульового керування першочергово встановлюються передавальні відношення як за кінематичними (i_ω), так і за силовими (i_p) параметрами. Визначення зазначених величин здійснюється з використанням спеціалізованого розрахункового виразу, розробленого для цієї мети, що забезпечує одержання числових результатів, необхідних для забезпечення відповідності технічному завданню:

$$i_\omega = \frac{\alpha_{p.k}}{\alpha_{k.k}} = i_{\omega.m} \cdot i_{\omega.n}, \quad (2.27)$$

$$i_\omega = \frac{1080^\circ}{35^\circ} = 30.85$$

$$i_p = \frac{\Sigma M_{k.k} \cdot R}{M_{p.k} \cdot C} = i_{p.m} \cdot i_{p.n}, \quad (2.28)$$

$$i_p = \frac{2600 \cdot 0,25}{34.5 \cdot 0,06} = 314$$

де $\alpha_{p.k}$, $\alpha_{k.k}$ – кути повороту відповідно рульового й керованого коліс,

$$\alpha_{p.k} = 540 \dots 1080^\circ, \alpha_{k.k} = 35 \dots 40^\circ;$$

$i_{\omega.m}$ і $i_{\omega.n}$, $i_{p.m}$ і $i_{p.n}$ – кінематичне і силове передавальні числа відповідно рульового механізму і рульового приводу;

$\Sigma M_{k.k}$ – сумарний момент опору повороту керованих коліс;

$G=16000$ Н – вага, що припадає на керовані колеса;

$f=0,018$ – коефіцієнт опору коченню;

$\varphi = 0,6 \dots 0,8$ – коефіцієнт зчеплення шини з полотном дороги;

$r_{ковз} = (0,12 \dots 0,15) r_k$ – радіус ковзання шини, м;

r_k – радіус кочення колеса, м ($r_k \approx r_{cm} \approx r_o$);

$R = 0,2...0,25$ м – радіус рульового колеса, м;

$M_{pk} = P_{p.k} \cdot R = 138 \cdot 0,25 = 34,5$ Н·м – момент, який прикладається до рульового колеса;

$P_{p.k}$ – зусилля, яке водій прикладає до рульового колеса, Н; Необхідно виконання умови $P_{p.k} \leq 400$ Н.

Величина S , що характеризує радіус обкочування (або ж радіус повороту) керованого колеса, представляє собою довжину перпендикуляра, проведеного від центру плями контакту шини з дорожнім покриттям до умовного продовження осі шворня. Для його визначення застосовується спеціально адаптована формула, сформована на основі методичних підходів, що дозволяє отримати точні числові результати, необхідні для забезпечення відповідності конструкції вимогам технічного завдання

$$\Sigma M_{k.k} = 1,25 \cdot G(f + \varphi \cdot r_{ковз}) \quad (2.29)$$

$$\Sigma M_{k.k} = 1,25 \cdot 166132(0,018 + 0,8 \cdot 0,14) = 2600,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Значення необхідного зусилля, що виникає на рульовому колесі під час обертання, обчислюється з використанням спеціально виведеної формули, адаптованої під технічні вимоги конкретного розрахунку. Цей вираз дозволяє отримати числові значення, які надалі застосовуються для забезпечення відповідності конструкції системи рульового керування заданим експлуатаційним умовам:

$$P_{p.k} = \frac{M_{k.k}}{u_o \cdot \eta_{p.k} \cdot \eta_{p.n} \cdot R_{p.k}} = \frac{2600,8}{27 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,25} = 715 \text{ Н} \quad (2.30)$$

де $\eta_{p.m} = 0,6...0,7$ – ККД рульового механізму (прямий);

$\eta_{p.n} = 0,85...0,95$ – ККД рульового приводу.

Кути повороту керованих коліс автомобіля, що розглядаються без урахування впливу кутів бокового уведення шин, розраховуються на основі спеціалізованої формули. Застосування цієї формули дозволяє отримати необхідні числові значення, які забезпечують відповідність геометрії керування встановленим технічним критеріям та вимогам:

$$\text{ctg} \alpha_z - \text{ctg} \alpha_{\text{вн}} = \frac{M}{L} = \frac{1,65}{2,95} = 0,559 \quad (2.31)$$

де $\alpha_z, \alpha_{вн}$ – кути повороту відповідно зовнішнього і внутрішнього коліс;
 M – відстань між осями повороту керованих коліс (між осями шворнів);
 L – база автомобіля.

Базові геометричні характеристики рульового механізму, зокрема розміри M , m та n , встановлюються на основі структурної схеми, наведеної на рисунку 2.14. Ці параметри є ключовими для забезпечення правильності кінематики повороту коліс та узгодженості траєкторій при повороті автомобіля.

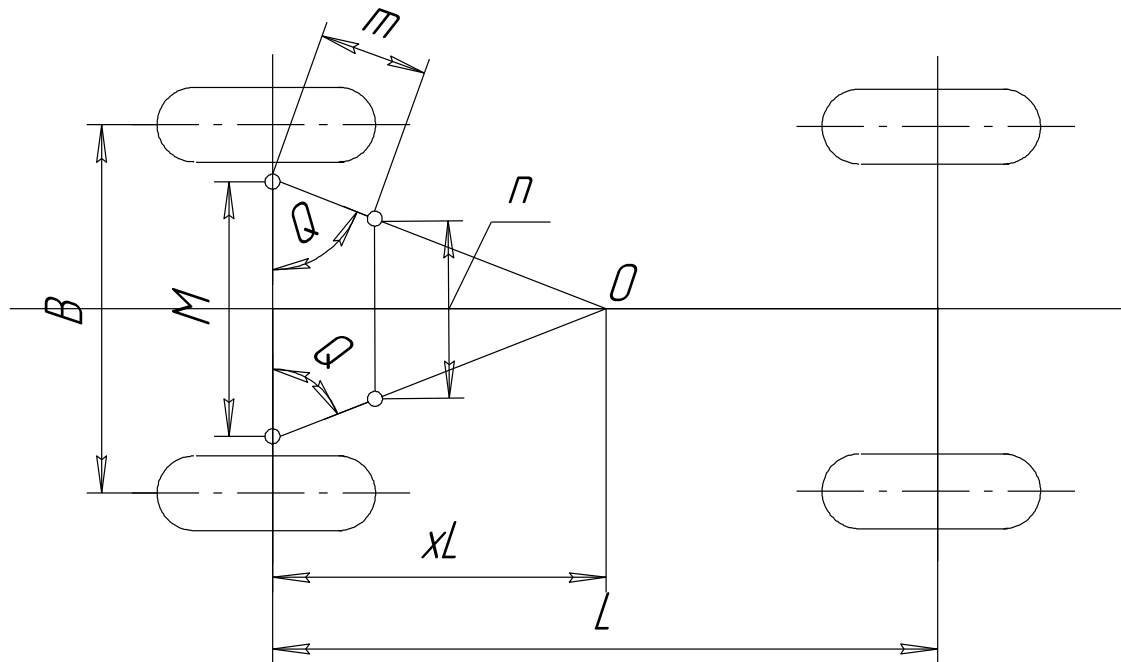


Рис. 2.14 Схематичне зображення визначення основних геометричних параметрів рульової трапеції.

Для встановлення значення параметра M використовується попередньо задана довжина поворотної цапфи, що обирається виходячи з конструктивних особливостей рульового вузла. У випадку застосування тороїдних шин, як наближене інженерне рішення, доцільно приймати довжину цапфи рівною ширині профілю шини, тобто $l_c \approx B_{ш}$, де $B_{ш}$ - ширина шини по профілю.

Визначення кута повороту θ здійснюється на основі спеціалізованої формули, адаптованої для даного розрахункового випадку. Ця формула забезпечує отримання точних числових параметрів, необхідних для дотримання вимог до геометрії поворотного механізму.

$$\operatorname{ctg} \theta = \frac{M}{2 \cdot x \cdot L} = \frac{1,65}{2 \cdot 0,7 \cdot 2,95} = 0,399 = 52^{\circ} \quad (2.32)$$

За припущення, що співвідношення m/n знаходиться в межах $0,12 \dots 0,16$, для подальших аналітичних розрахунків приймаємо це як допустимий діапазон. Якщо знехтувати впливом деформацій шини на загальну кінематику повороту, то можна орієнтовно прийняти значення коефіцієнта $x = 0,7$. У такому разі подальші обчислення здійснюються за цим припущенням.

$$n = \frac{M}{1 + 2 \frac{m}{n} \cos \theta} = \frac{1,65}{1 + 2 \cdot 0,12 \cdot \cos 52^{\circ}} = 1,50 \text{ м} \quad (2.33)$$

На наступному етапі здійснюється перевірка відповідності побудованої рульової трапеції теоретичним залежностям, виходячи з попередньо визначених геометричних параметрів. З цією метою виконується побудова схеми рульового приводу в масштабі 1:10 (рисунок 2.15). Далі, шляхом послідовного графічного повороту одного з керованих коліс на кутові прирости по 5° у межах допустимого діапазону, визначається відповідний кут повороту другого колеса. Отримані результати фіксуються в таблиці 2.8, на основі якої будується графічна залежність, подана на рисунку 2.16.

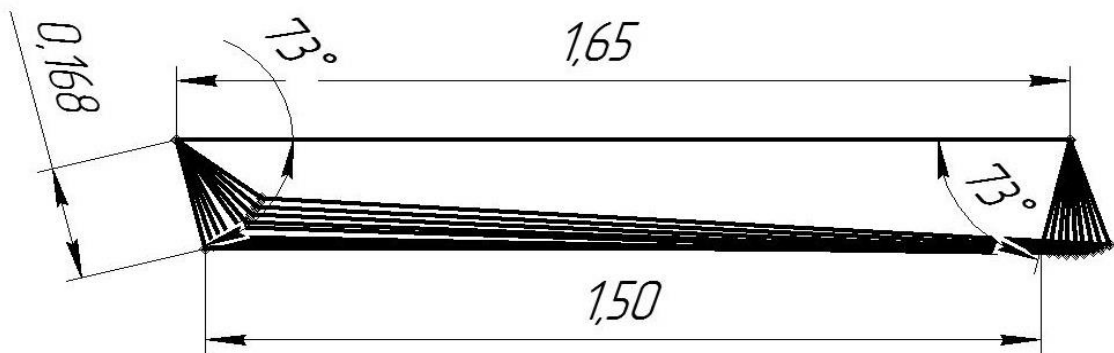


Рис. 2.15. Графічна схема для встановлення функціонального зв'язку між кутами повороту передніх керованих коліс

Таблиця 2.8. Залежність кутів повороту внутрішнього та зовнішнього коліс при різних положеннях рульового механізму

Кути повороту колеса	Внутрішній $\alpha_{\text{вн}}$		5	10	15	20	25	30	35
	Зовнішній $\alpha_{\text{з}}$	теоретичний	4.8	9.3	13.5	17.5	21.3	24.9	28.4
		графічний	4.3	9.8	13.2	17.3	21.1	24.4	27.5

Теоретичні значення кута повороту зовнішнього керованого колеса (α_3) визначаються за відповідною розрахунковою формулою. На основі отриманих результатів, наведених у таблиці 2.8, будується графік функціональної залежності α_3 від кута повороту внутрішнього колеса ($\alpha_{\text{вн}}$), який представлено на рисунку 2.16.

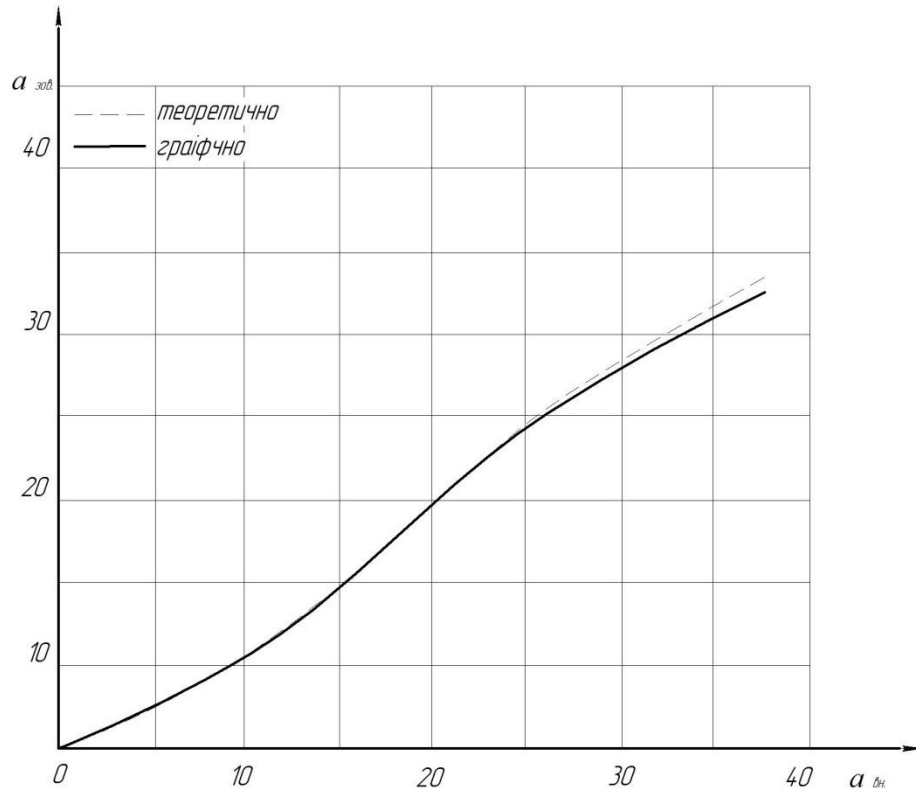


Рис. 2.16. Графік залежності між кутами повороту внутрішнього та зовнішнього керованих коліс автомобіля.

Отримані геометричні розміри рульової трапеції можна вважати прийнятними у випадку, якщо при повороті керованих коліс на кут до 20° емпірична крива практично збігається з теоретичною, а відхилення між ними не перевищує допустимого діапазону $2\text{--}3^\circ$.

2.10 Аналіз навантажень у системі рульового керування

Визначення моменту опору при повороті рульового колеса. На рисунку 2.17 представлено кінематичну модель механізму рульового керування, що використовується для розрахунку моменту опору, який виникає при обертанні рульового колеса в умовах експлуатаційного навантаження.

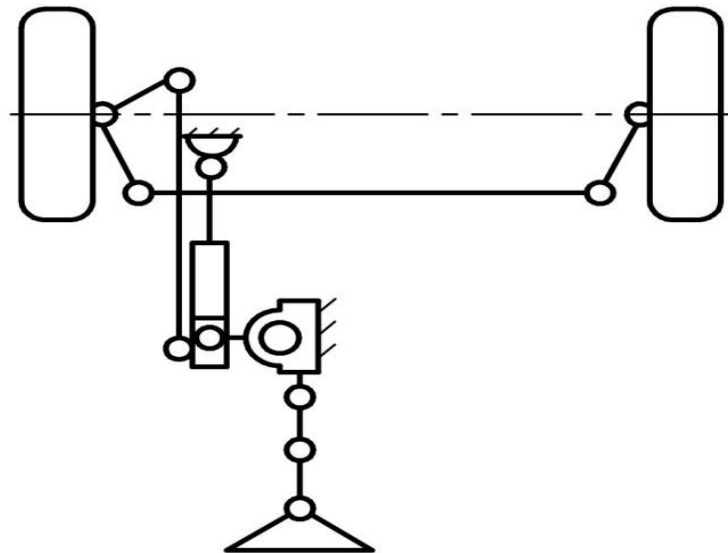


Рис. 2.17. Кінематична схема системи рульового керування (з різьбовою трапецією та інтегрованим гідропідсилювачем)

Для визначення моменту опору, що виникає при обертанні рульового колеса, застосовується аналітичний вираз, адаптований до умов конкретного механізму. Цей розрахунковий підхід дозволяє отримати числові параметри, необхідні для подальшого оцінювання функціональної ефективності рульового керування.

$$M_c = \frac{2\varphi}{3} \sqrt{G K^3 / P_{ш}} \quad (2.34)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення з дорогою, при повороті колеса на місці;

$p_{ш} = 3,9 \times 10^5$ – тиск повітря в шині, МПа;

$G_K = 41532,6$ Н – навантаження на передню вісь.

$$M_c = \frac{2 \cdot 0,85}{3} \sqrt{41532^3 / 3,9 \times 10^5} = 8207 \text{ Нм.}$$

Зусилля, яке необхідно прикласти до рульового колеса для здійснення повороту транспортного засобу з місця, визначається на основі спеціалізованої розрахункової формули

$$P_{Р.К} = \frac{M_c}{U_{\omega} \cdot R_{Р.К} \cdot \eta_{Р.М}}, \text{ Н,} \quad (2.35)$$

де U_{ω} – передаточне число рульового механізму;

$\eta_{P.M}$ —ККД рульового механізма;

$R_{P.K}$ —радіус рульового колеса:

$$P_{P.K.} = \frac{8207}{20 \times 0,485 \times 0,85} = 995,4H$$

Розрахункове значення зусилля на обідді рульового колеса становить $P_{P.K.} = 1068$ Н, що суттєво перевищує гранично допустиму величину $[P_{P.K.}] = 700$ Н. Такий результат свідчить про необхідність впровадження гідравлічного підсилювача рульового керування для забезпечення комфортного та безпечного керування автомобілем.

Гідравлічний підсилювач рульового керування істотно знижує фізичне навантаження на водія, що виникає під час обертання рульового колеса з метою повороту передніх коліс. Окрім цього, він забезпечує амортизацію ударних навантажень, спричинених дорожніми нерівностями, що позитивно впливає на керованість і підвищує загальну безпеку руху. У разі аварійної ситуації, наприклад розриву передньої шини, система дозволяє зберегти стабільний контроль над напрямком руху транспортного засобу.

Момент на рульовому колесі, за якого активується підсилювач, визначається жорсткістю центрівних пружин і зазвичай становить приблизно 5 Н, що відповідає зусиллю на ободі керма близько 23 Н. За умов досягнення максимального розрахункового моменту опору повороту коліс ця величина зростає до 19 Н (відповідає зусиллю приблизно 86 Н на ободі). Варто зазначити, що в реальних умовах ці значення можуть бути дещо вищими за розрахункові внаслідок додаткових натягів у механізмах рульового керування.

Незважаючи на це, максимальне зусилля на кермі автомобіля Краз істотно менше порівняно не лише з аналогічними показниками більшості вантажівок, але навіть з окремими моделями легкових автомобілів. Відчуття дороги, яке передається через систему керування, може бути охарактеризоване спеціальним коефіцієнтом, що визначає інформативність зворотного зв'язку на кермі водія:

$$K = \frac{M_{\max}}{M_0} \quad (2.36)$$

де $M_{\max}$ - максимальний момент, що прикладається до рульового колеса під час повороту керованих коліс за умов найбільшого розрахункового опору;

M_0 - момент, що відповідає початку дії гідропідсилювача керма.

Для аналізованого автомобіля коефіцієнт інформативності керування $K=3,8$, що свідчить про достатньо високий рівень «відчуття дороги» та забезпечує точне зворотне зв'язування з водієм під час руху.

Максимальне робоче тиск, що розвивається в робочій порожнині циліндра гідравлічного підсилювача при повороті транспортного засобу з місця, становить $5,885$ МПа, що відповідає характерним експлуатаційним умовам для вантажного автотранспорту.

Питома працездатність гідропідсилювача визначається із застосуванням спеціалізованого аналітичного виразу, що дозволяє отримати числові результати, необхідні для виконання розрахункових і конструкторських завдань у межах системи рульового керування.

$$L_{y\partial} = \frac{V_p \cdot P_{\max}}{G_k} \quad (2.37)$$

де V_p - робочий об'єм гідропідсилювача керма,

$P_{\max}$ - граничне тиск, яке створюється насосом під час максимального навантаження.

Для розглядуваного автомобіля максимальне значення тиску, що забезпечується насосом у системі кермового підсилення, становить $P_{\max} = 5,885$ МПа. На основі цих параметрів визначається питома робота здатність гідропідсилювача - один із ключових показників ефективності його функціонування в умовах експлуатаційного навантаження.

$$L_{y\partial} = \frac{0.053 \times 5.885}{41532,6} = 68 \text{ Н/тс.}$$

За умови забезпечення необхідної продуктивності насоса системи гідропідсилення, обертання рульового колеса відбувається з такою частотою, що насос встигає компенсувати зміну об'єму робочої камери гідроциліндра. Для автомобіля КраЗ критичні значення частоти обертання рульового колеса становлять не менше ніж $1,31$ об/с у напрямку за годинниковою стрілкою та $1,68$ об/с у протилежному напрямку. Ці показники відповідають мінімальному

режиму обертів двигуна на холостому ході й забезпечують ефективне функціонування гідравлічного приводу керма.

Силове передавальне число рульового керування розраховується з використанням спеціально розробленого аналітичного виразу, який дозволяє одержати кількісні значення, необхідні для подальших інженерних обчислень. Цей параметр є ключовим у визначенні зусилля, яке передається від рульового колеса до керованих коліс

$$U_{c.} = \frac{M_c}{M_{p.k.}} \quad (2.37)$$

де M_s - обертовий момент, що протидіє обертанню рульового колеса, Н·м;

$M_{p.k.} = 86$ Н - момент, який створюється при прикладанні зусилля до обода рульового колеса.

$$U_{c.} = \frac{8207}{86} = 95,4$$

Для оцінки напружень, які виникають під час кручення в такому елементі, застосовується спеціально розроблена розрахункова формула. Вона дозволяє отримати необхідні числові значення, які забезпечують подальше виконання проєктного завдання.

$$\tau = \frac{M_{PK} \times d_H}{\left[0.2 \left(d_H^4 - d_B^4 \right) \right]} \text{ МПа} \quad (2.38)$$

$$d_H = 0,025 \text{ м}; \quad d_B = 0,020 \text{ м}$$

$$\tau = \frac{86 \times 0,025}{\left[0.2 \left(0,025^4 - 0,020^4 \right) \right]} = \frac{2,15}{3,92 \times 10^{-8}} = 46 \text{ МПа.}$$

Результати розрахунку показали, що величина напруження від кручення у рульовому валу становить 46 МПа, що є істотно нижчим за допустиме значення, яке дорівнює 100 МПа. Це свідчить про відсутність необхідності у зміні геометричних або конструктивних параметрів вала.

У конструкції типу «гвинт - кулькова гайка», яка використовується в гвинтрейковому рульовому механізмі, виконується розрахунок умовного радіального навантаження $P_{ш}$, яке припадає на одну кульку. Для цього

застосовується відповідна формула, розроблена спеціально для такого типу навантажень, яка дозволяє отримати числові значення, необхідні для подальшого аналізу працездатності вузла.

$$P_{ш} = \frac{5P_x}{m \times z \times \cos \delta_{кон}} \quad (3.39)$$

де P_x - осьове зусилля, Н;

$m=2,5$ - кількість ефективно задіяних витків гвинтової пари;

$z=8$ - кількість кульок на одному витку при повному заповненні профілю жолобка;

$\delta_{кон} = 45^\circ$ - кут контакту між поверхнею кульки та профілем канавки.

Розрахунок контактного напруження, що є критерієм на міцність для елементів гвинтокулькової передачі, виконується за спеціалізованим аналітичним виразом. Даний підхід дозволяє отримати числові значення, необхідні для верифікації надійності та ресурсу вузла.

$$\sigma_{сж} = k_{кр} \sqrt{\frac{4P_x E^2 \left(\frac{1}{d_{ш}} + \frac{1}{d_k} \right)^2}{m \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \delta_{кон}}}, \text{ МПа} \quad (2.40)$$

де E - модуль пружності матеріалу, який для сталі приймається рівним 200 ГПа;

$d_{ш}$ - діаметр кульки, мм;

d_k - діаметр жолобка (канавки), мм;

$k_{кр}$ - коефіцієнт, що враховує вплив кривизни дотичних поверхонь і перебуває в межах 0,6–0,8. Граничне контактне напруження $[\sigma_{сж}]$ змінюється в інтервалі від 2500 до 3500 МПа в залежності від розміру кульки та матеріалу.

Відповідно до нормативу ГОСТ 3722-81 допускається розрахунок граничного руйнівного навантаження, що може виникати на окремій кульці.

Окружне зусилля, що прикладається до зубців сектора рульового механізму, визначається через аналітичну залежність, спеціально виведену для такого типу контактної взаємодії. Отримані числові значення слугують базою для оцінки навантажувальної здатності й ресурсу вузла в умовах експлуатації.

$$P_{сек} = \frac{M_{PK} u_{PM} \eta_{PM}}{r_{сек}} + \frac{P_{ж} \pi D_{гц}^2}{4}, \text{ Н} \quad (3.41)$$

де $r_{сек}$ - радіус початкового діаметра зубчастого сектора;

$P_{ж}$ - максимальне гідравлічне тиск у робочій порожнині секторного вузла;

$D_{D2ГЦ}$ - внутрішній діаметр гідроциліндра підсилювача керма.

Другий доданок у розрахунковій формулі враховується у випадках, коли підсилювач безпосередньо взаємодіє як із зубчастою рейкою, так і із сектором, тобто при конструктивному об'єднанні рульового механізму з гідроциліндром.

Використання сталей марок 18ХГТ, 30Х, 40Х, 20ХН3А є обґрунтованим для виготовлення сектора за умови дотримання допустимих напружень: межа плинності $\sigma_{и}] = 300...400 \text{ МПа}$; $[\sigma_{сж}] = 1500 \text{ МПа.}$, а граничне контактне напруження

Рівень напруження від дії сили зрізу у зоні основи кульового пальця визначається відповідно до спеціально сформульованої аналітичної залежності. Ця формула дозволяє точно розрахувати граничні навантаження на даний елемент рульового приводу з урахуванням його геометричних параметрів і умов експлуатації, що своєю чергою дозволяє оцінити працездатність та міцність деталі.

$$\sigma_{ср} = \frac{4P_{ж}}{F_{шп}} \text{ МПа}; \quad (2.42)$$

де $F_{шп}$ - площа поперечного перерізу кульового пальця в зоні основи, яка розраховується на основі спеціалізованої формули, сформованої для даного типу конструктивного елемента. Отримане значення використовується для подальших інженерних обчислень, що дозволяють визначити міцність пальця при дії зсувних та комбінованих навантажень. Це значення є ключовим для оцінки надійності з'єднання у системі рульового керування:

$$F = \pi d_{шп}^2 \text{ м}^2 \quad (2.43)$$

де $d_{шп}$ - діаметр кульового пальця.

$$[\sigma_{cp}] = 25 \dots 35 \text{ МПа} \Rightarrow d_{шп} = \sqrt{\frac{4P_x}{\pi \cdot [\sigma_{cp}]}} \text{, м} \quad (2.44)$$

$$D_{шп} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3903}{\pi \cdot 35}} = 0,012 = 12 \text{ мм.}$$

Хрестовина карданного валу виконує функцію компенсації деформаційних навантажень, що виникають у приводі при зміні просторового положення агрегатів трансмісії. Вона забезпечує рухливе з'єднання між двигуном транспортного засобу та його ведучим мостом, дозволяючи зберігати стійкість автомобіля та знижувати вплив нерівностей дорожнього покриття на динаміку руху.

Шипи хрестовини піддаються дії згинальних і контактних напружень, тоді як сама хрестовина розраховується на міцність при розтягувальному навантаженні. Величини цих навантажень визначаються відповідно до спеціально розробленої формули, яка дозволяє обґрунтовано отримати числові параметри для подальшого аналізу міцності елементів конструкції.

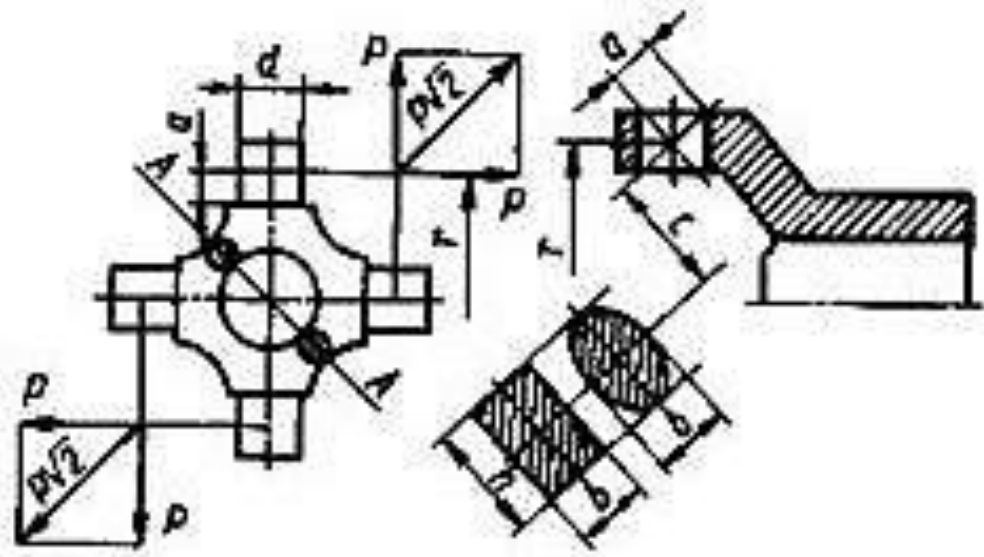


Рис. 2.18. Розрахункова модель карданного шарніра з різними кутовими швидкостями обертання.

Згинальне напруження, що виникає в шипі хрестовини в процесі передачі крутного моменту через карданний механізм, визначається з урахуванням прийнятої для цього типу задач розрахункової залежності. Застосування цієї формули дозволяє отримати кількісні показники напруженого стану шипа,

необхідні для подальшого аналізу його працездатності та довговічності при експлуатації транспортного засобу в реальних умовах.

$$\sigma_u = \frac{M_{pk} \cdot U_w \cdot a}{2r \cdot 0.1 \cdot d^3} \quad (2.45)$$

$$\sigma_u = \frac{48,5 \cdot 20,3 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 15,5 \cdot 1,^{-3} \cdot 0,1 \cdot 10,005^3 \cdot 10^{-9}} = 136 \text{ МПа.}$$

$\sigma_n \leq [\sigma_n] = 300 \text{ МПа}$ - У результаті проведених розрахунків підтверджено, що умови згинального напруження для хрестовини карданного шарніра задовольняють критеріям міцності. Водночас зусилля, що викликають зсув шипів хрестовини, аналізуються за допомогою спеціально адаптованої аналітичної формули, яка дозволяє встановити відповідні числові значення напруженого стану. Ці дані використовуються для оцінки експлуатаційної надійності вузла в умовах змінних навантажень.

$$\tau = \frac{2M_{pk} \times u_{co}}{\pi d^2 \cdot r} \text{ МПа} \quad (2.46)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 48,5 \cdot 20,3}{3,14 \cdot 10,005^5 \cdot 15,5 \cdot 10^{-9}} = 36 \text{ МПа}$$

$\tau \leq [\tau] = 60 \text{ МПа}$ - Результати аналізу підтверджують, що напруження зсуву, яке діє на хрестовину карданного шарніра, не перевищує допустимих меж, що вказує на відповідність умовам міцності за критерієм зрізу. Подальша оцінка напруженого стану в зоні можливого розриву хрестовини здійснюється в межах прямокутного поперечного перерізу А–А площею F. Величина розтягувального напруження визначається на основі спеціалізованої формули, призначеної для виконання даного типу розрахунків, що забезпечує отримання необхідних числових характеристик для інженерного аналізу.

$$\sigma_p = \frac{M_{pk} \cdot U_w \cdot \sqrt{2}}{2r \cdot F} \text{ МПа} \quad (2.47)$$

b=10,0005мм; h=20мм.

$$\sigma_p = \frac{48,5 \cdot 20,3 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot 15,5 \cdot 20,01 \cdot 10,005 \cdot 10^{-6}} = 39 \text{ МПа.}$$

$\sigma_p \leq [\sigma_p] = 100 \text{ МПа}$ - умова напруги на розрив хрестовини виконується.

Крутильне напруження, яке виникає у валу сошки за умови використання гідропідсилювача рульового керування, розраховується із застосуванням спеціалізованого аналітичного виразу. Зазначена формула адаптована до умов інженерного аналізу та дозволяє отримати числові значення, необхідні для перевірки міцності елемента на дію крутильного моменту з урахуванням впливу підсилювального пристрою

$$\tau = \frac{M_{PK} u_{PM} \eta_{PM} + P_{ж} \pi 0,25 D_{гш}^2 r_{сех}}{0,2 d^3}, \text{ МПа} \quad (2.48)$$

де d – діаметр вала сошки

Матеріал вала сошки - сталь 30, 18ХГТ, 20ХНЗА.; $[\tau] = 300 \dots 350 \text{ МПа}$.

Конструкція рульової сошки зазвичай складається з важеля, що має шліцьове з'єднання, який забезпечує передачу зусиль через різьбову опорну шпильку до корпусу підшипника та місця її посадки, а також утворює з'єднання з елементами рульового механізму. Нижня частина шпильки зазвичай має спеціальне антикорозійне або брудозахисне покриття, яке запобігає проникненню абразивних частинок у підшипниковий вузол та його посадочне місце. Верхній сегмент опорної шпильки безпосередньо взаємодіє з центральною ланкою системи рульового приводу, забезпечуючи стабільність і точність передачі крутного моменту.

Конструктивна схема рульової сошки наведена на рисунку 2.19. Основними видами навантажень, що діють на цей елемент, є згинальні та крутильні напруження, що обумовлює необхідність проведення відповідного міцнісного розрахунку.

Проектний аналіз рульової сошки здійснюється з урахуванням комбінованого опору матеріалу до дії зовнішніх сил. Конструкція з шліцьовим з'єднанням підлягає перевірці на міцність щодо зрізу, з огляду на можливі зусилля, що передаються від рульового механізму. Навантаження, яке виникає в зоні кульового пальця сошки, є результатом взаємодії згинального моменту та моменту кручення. У випадку використання інтегрованого підсилювача керма, ця комбінація сил значно ускладнює розрахунок, тому для визначення

еквівалентного зусилля застосовується спеціалізоване аналітичне рівняння, що дозволяє отримати чисельні значення для подальшої оцінки міцності конструктивного елемента.

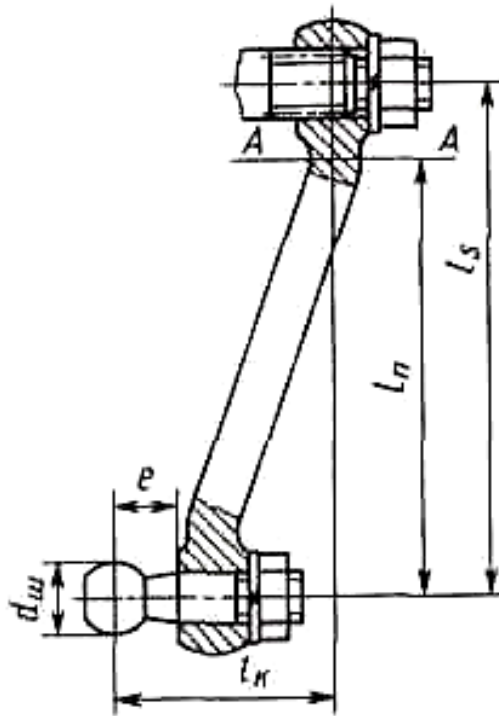


Рис. 2.19. Розрахункова модель рульової сошки.

$$P_{сош} = \frac{M_{PK} \times U_{PM} \times \eta_{PM}}{l_s} + \frac{P_{жс} \times \pi D_{ГЦ}^2}{4 \times l_s} \quad (2.49)$$

Напруження, що виникає внаслідок вигину в критичному поперечному перерізі А–А, обчислюється із застосуванням спеціалізованого аналітичного виразу, розробленого для проведення інженерного аналізу напруженого стану конструктивного елемента. Цей розрахунок дозволяє кількісно оцінити максимальні згинальні напруження, що діють у зоні найбільшого ризику руйнування, і слугує основою для подальшого оцінювання міцності деталі за умов експлуатаційних навантажень.

$$\tau = \frac{P_{сош} \times l_n}{W_H} \quad \text{МПа}; \quad (2.50)$$

Крутильні напруження визначаються із застосуванням спеціалізованого розрахункового виразу, розробленого для забезпечення точного аналізу напруженого стану елемента конструкції в умовах дії обертового моменту.

Отримане значення є базовим для оцінки міцності та довговічності деталей, що зазнають крутильних деформацій у процесі експлуатації

$$\tau = \frac{P_{сош} \times l}{W_K} \text{ МПа}; \quad (2.51)$$

Параметри $W_{и}$ і W_K відповідають осьовому і полярному моментам опору в критичному перерізі елемента.

Для оцінки міцності сошки застосовується розрахунок еквівалентного напруження на основі однієї з прийнятих у механіці деформівного тіла теорій міцності.

У конструкції сошки передбачено використання вуглецевих або легованих сталей, таких як 30 або 18ХГТ. Допустиме еквівалентне напруження для зазначених матеріалів знаходиться в межах $[\sigma_{екв}] = 300 \dots 400$ МПа, залежно від умов навантаження та термообробки.

Сила, що передається зубчастим колесом на зубчасту рейку R_x , спричиняє виникнення стискуючих напружень у тязі, а також викликає її прокольний прогин.

Для кількісного аналізу цих напружень використовується спеціалізована розрахункова залежність, яка забезпечує визначення необхідних параметрів для подальшої оцінки міцності елемента в умовах експлуатаційного навантаження.

$$\sigma_{сж} = \frac{P_x}{F} \text{ МПа}; \quad (2.52)$$

де F - площа поперечного перерізу елемента, яка визначається на основі спеціально розробленого аналітичного виразу, що дозволяє встановити точні значення для подальшого розрахунку напруженого стану.

$$F = \pi \frac{d^2}{4} \text{ м}^2; \quad (2.53)$$

де d - діаметр перерізу тяги; $d = 0,016$ м

$$F = 3.14 \frac{0.016^2}{4} = 0.0002 \text{ м}^2;$$

$$\sigma_{сж} = \frac{4125}{0.0002} = 20.6 \text{ МПа.}$$

Критичне значення напруження при поздовжньому прогині елемента визначається із застосуванням спеціалізованої аналітичної залежності, що була сформульована з метою забезпечення точності інженерного розрахунку стійкості конструктивного елемента:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L^2 \cdot F} \text{ МПа}; \quad (2.54)$$

де L - геометрична довжина тяги, м; E - модуль пружності при осьовому деформуванні, МПа; J - момент інерції поперечного перерізу тяги.

Для розрахунків прийнято $L = 0,3$ м.

Значення моменту інерції перерізу визначається з використанням спеціально розробленої формули, яка забезпечує точність при оцінюванні опору елемента до прогину

$$J = \pi \frac{d^4}{64} \text{ м}^4; \quad (2.55)$$

$$J = 3,14 \frac{0,016^4}{64} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4; \quad \sigma_{кр} = \frac{3,14^2 \cdot 10^{11} \cdot 3 \cdot 10^{-9}}{0,3^2 \cdot 0,0002} = 329 \text{ МПа};$$

Коефіцієнт запасу стійкості визначається з урахуванням спеціально сформульованого розрахункового рівняння, яке дозволяє кількісно оцінити здатність елемента протистояти втраті стійкого положення під дією осьового навантаження

$$\delta = \frac{\sigma_{ежс}}{\sigma_{кр}} \quad (2.56)$$

$$\delta = \frac{329}{125} = 1,5$$

Запас стійкості $\delta = 1,5$, що задовольняє умову $[\delta] = 1,5 \dots 2,0$.

2.11 Удосконалення конструкції рульової сошки та поперечної тяги

У процесі конструктивного вдосконалення поперечної тяги передбачається її заміна: замість стандартного елемента з діаметром перерізу $d=0,016$ м встановлюється модифікована тяга з більшим діаметром $d=0,020$ м, що

забезпечує підвищену міцність і жорсткість елемента. Розрахунок площі поперечного перерізу здійснюється відповідно до спеціально виведеної розрахункової формули, що дозволяє точно визначити геометричні характеристики оновленої деталі.

$$F = \pi \frac{d^2}{4} \text{ м}^2; \quad (2.57)$$

де d - діаметр перерізу тяги; $d = 0,020 \text{ м}$.

$$F = 3.14 \frac{0.016^2}{4} = 0.00125 \text{ м}^2.$$

Зусилля R_x , яке передається зубчастим колесом на рейку, спричиняє виникнення стискальних напружень, а також сприяє появі місцевого прогину тяги, що імітує ефект проколювання. Кількісна оцінка цих явищ здійснюється за допомогою спеціально адаптованої розрахункової формули, що дозволяє визначити величини напружень з урахуванням конструктивних параметрів елемента та умов навантаження.

$$\sigma_{сж} = \frac{P_x}{F} \text{ МПа}; \quad (2.58)$$

$$\sigma_{сж} = \frac{4125}{0.00125} = 32.8 \text{ МПа};$$

Проведений аналіз свідчить про те, що збільшення діаметра поперечної тяги сприяє підвищенню переданого зусилля від шестерні до зубчастої рейки, що позитивно впливає на жорсткість і надійність рульового приводу. Традиційно для виготовлення рульової сошки застосовують конструкційні сталі марок 30 або 18ХГТ з допустимим еквівалентним напруженням у межах $[W_e] = 300...400 \text{ МПа}$. В рамках запропонованої модернізації доцільним є використання сталі марки 35, яка характеризується підвищеними показниками міцності, зокрема $[W_e] = 380...460 \text{ МПа}$, що дозволяє забезпечити кращі експлуатаційні властивості компонента.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вихідні вимоги до проєктування стенда

Планується створення випробувального стенда, призначеного для визначення загального люфту в системі рульового керування легкових автомобілів, а також вимірювання зусилля, що передається на рульове колесо при умові вільного обертання передніх коліс (у вивішеному стані).

Основна мета проєктування полягає у вдосконаленні наявних конструктивних рішень шляхом мінімізації кількості складових елементів, конструктивного спрощення окремих вузлів і механізмів, а також підвищення рівня технологічності виготовлення. Такий підхід дозволить забезпечити ефективне серійне виробництво стенда за умов обмеженого використання верстатного парку.

Пріоритетне застосування стандартизованих типорозмірів металевих профілів, уніфікованих з'єднувальних елементів та типових комплектуючих сприятиме підвищенню ефективності проєктного процесу й подальшому удосконаленню існуючих технічних рішень.

У процесі створення конструкції стенда необхідно провести детальний технічний аналіз існуючих зразків приладів для вимірювання сумарного люфту у системах рульового керування транспортних засобів. До таких приладів, зокрема, належать:

- модель К-524;

- модель ІСЛ-401;

- модель ІСЛ-М.

Стенд, що призначається для визначення загального люфту рульового механізму легкових автомобілів, повинен відповідати ряду ключових вимог:

- забезпечувати надійність роботи при мінімальних витратах на виготовлення й обслуговування;

- демонструвати стійку працездатність протягом усього періоду експлуатації;

- бути технологічно зручним для виробництва в умовах серійного або

дрібносерійного виготовлення;

зберігати функціональні властивості в процесі транспортування та довготривалого зберігання;

відповідати чинним нормативам пожежної безпеки та електрозахисту, що гарантує безпеку користувача під час експлуатації.

Під час проєктування конструкції стенда особливу увагу слід приділити забезпеченню високого рівня ремонтпридатності виробу. З цією метою доцільно максимально використовувати стандартні типорозміри металоконструкцій, кріпильних елементів та інших уніфікованих компонентів. У розроблюваній конструкції необхідно передбачити можливість її поетапної модернізації та вдосконалення без потреби у внесенні змін до технічної документації - за умови, що такі зміни об'єктивно підвищують експлуатаційні та споживчі характеристики виробу.

Умови безпеки експлуатації забезпечуються дотриманням таких вимог:

Конструктивна безпека. При виконанні ремонтно-відновлювальних операцій силові елементи установки не повинні створювати загрози для працівника. Під час транспортування всі робочі вузли мають бути надійно зафіксовані з метою запобігання травмуванню персоналу при монтажі чи демонтажі.

Санітарно-гігієнічні норми. Конструкція має відповідати стандартам, які гарантують безпечні умови праці, включно з допустимими рівнями шуму, вібрацій та освітлення.

Ергономічні вимоги. Робоче місце повинно бути організоване так, щоб не спричиняти передчасного фізичного виснаження слюсаря. Робоча зона виконавчих елементів повинна розташовуватись нижче рівня грудної клітки, а органи керування та фіксації – у зручному та доступному місці. Під час експлуатації оператор не повинен потрапляти до потенційно небезпечної зони рухомих частин механізму.

Естетико-психологічні вимоги. Зовнішній вигляд пристрою має бути лаконічним і стриманим – перевага надається прямокутній формі корпусу зі згладженими кутами та непомітними виступами. Такий підхід дозволяє уникнути негативного впливу на психоемоційний стан працівника та не

відволікає його від основної роботи.

Вимоги ремонтпридатності. Стенд має бути спроектований з урахуванням можливості технічного обслуговування та ремонту з використанням мінімального набору інструментів. Перед зберіганням або транспортуванням установка повинна легко демонтуватися на складові частини та упаковуватись у дерев'яну тару для забезпечення збереження.

Стенд для вимірювання сумарного люфту рульового механізму легкових автомобілів належить до категорії обладнання, що використовується у сфері технічного обслуговування та ремонту автотранспортних засобів. Його призначення полягає у забезпеченні точного контролю технічного стану деталей і вузлів рульового керування під час проведення регламентних робіт або діагностики.

Передбачено, що експлуатація стенда здійснюватиметься в умовах автомайстерень і сервісних центрів, обладнаних для обслуговування легкових автомобілів. Робоче середовище має відповідати наступним умовам:

підлога приміщення викладена цементобетонною стяжкою;

температурний режим у приміщенні підтримується в межах від +18 °C до +30 °C при відносній вологості повітря 60–80 %;

наявні внутрішні та зовнішні джерела штучного освітлення, що забезпечують достатній рівень видимості у робочій зоні;

електропостачання здійснюється від мережі змінного струму з напругою 220 або 380 В.

Стенд необхідно виготовити в єдиному екземплярі. Його конструкція повинна бути розроблена у вигляді окремих функціональних вузлів і механізмів, що спрощує монтаж, експлуатацію та подальше обслуговування. Під час проектування необхідно забезпечити стабільну працездатність стенда впродовж всього міжремонтного періоду.

У конструкції слід передбачити наявність ефективних захисних засобів та огорожень, що унеможливають доступ до рухомих елементів під час роботи, тим самим підвищуючи рівень безпеки персоналу.

Техніко-економічні показники розробленого зразка мають бути не нижчими за характеристики серійних стендів, які вже представлені на ринку, з

урахуванням вимог до надійності, функціональності та витрат на виготовлення.

3.2 Технічна пропозиція

Відповідно до отриманого технічного завдання, передбачається проєктування спеціалізованого стенда, призначеного для визначення сумарного люфту рульового механізму легкових автомобілів, а також зусилля, яке прикладається до рульового колеса при вивішених передніх колесах.

На початковому етапі доцільно здійснити комплексний огляд і порівняльний аналіз наявного обладнання, що застосовується на станціях технічного обслуговування з аналогічною функціональністю. Такий підхід дозволить виявити оптимальні технічні рішення, оцінити рівень відповідності параметрів серійних зразків вимогам, викладеним у технічному завданні, та сформулювати обґрунтовану концепцію конструкції, що відповідатиме сучасним стандартам надійності, точності вимірювання й технологічності виготовлення.

Відповідно до технічного опису, наведеного в інструкції з експлуатації, конструкція люфтоміра (рисунок 3.1) включає у себе верхній (1) і нижній (2) телескопічні кронштейни, що фіксуються до ободу рульового колеса за допомогою опорних елементів (3). Центральна рухома каретка (4) забезпечує з'єднання напрямних стрижнів (5), які проходять крізь обидва кронштейни, за допомогою фіксуючого затискача (6). До конструкції також входить кутомірна шкала (7), змонтована на осі затискача з можливістю ручного обертання. Механізм самогальмування реалізовано за рахунок гумової фрикційної шайби (8), що забезпечує фіксацію шкали після зняття зусилля.

Важливою функціональною частиною приладу є еластична нитка (9), яка натягується за допомогою вакуумного присоса (10), закріплюючись між затискачем (6) та лобовим склом автомобіля. Вона виконує роль індикатора (стрілки), що вказує значення на шкалі.

У системі також реалізовано навантажувальний блок у вигляді пружинного динамометра двосторонньої дії (11), конструкція якого детально зображена на рисунку 3.2. (права частина). Правильність роботи приладу

забезпечується точною установкою каретки (4) по осі обертання рульового колеса. Це досягається шляхом регулювання симетричних вилетів стрижнів (5) на однакову відстань відносно центральної каретки («а» та «в»), що унеможливорює спотворення показів під час повороту керма.

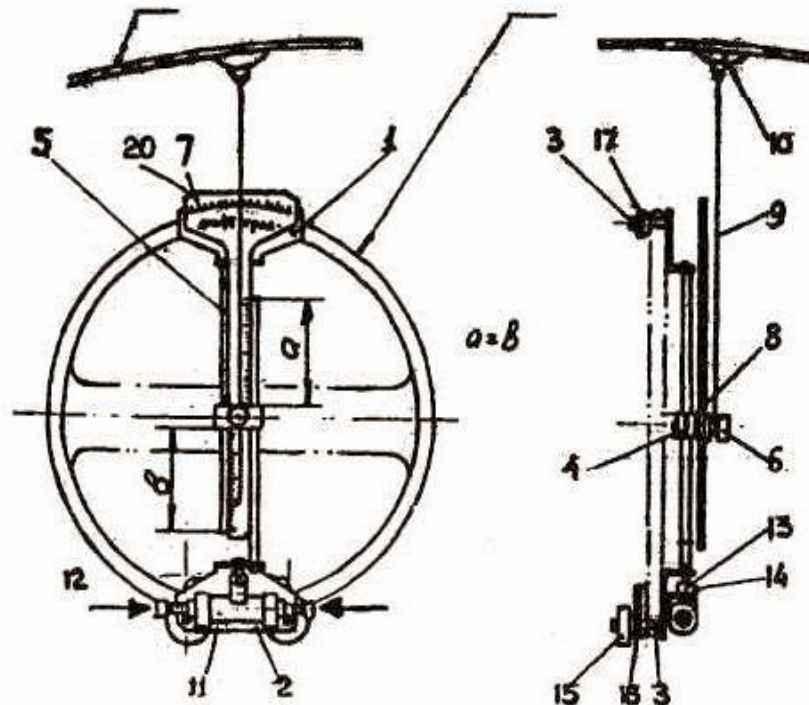


Рис. 3.1. Загальний вигляд люфтоміра.

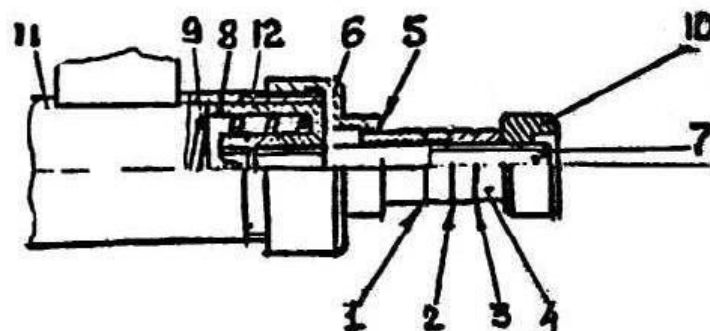


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд динамометра (права частина):

1, 2, 3 – ризики регламентованих зусиль (0,75 кг; 1,0 кг; 1,25 кг); 4 – покажчик; 5 – край кришки; 6 – кришка; 7 – шпилька; 8 – тарілка пружини; 9 – пружина; 10 – головка; 11 – корпус; 12 – контргайка.

Монтаж динамометра (11) здійснюється на нижньому кронштейні (2) через монтажний елемент (13), після чого пристрій фіксується гвинтом-блокатором (14). Його положення задається таким чином, щоб при встановленні приладу на обід керма прикладене зусилля припадало точно на

центр поперечного перерізу рульового обода.

Процедура визначення сумарного люфту в системі рульового керування, що реалізується одним оператором, передбачає вимірювання величини кута повороту рульового колеса за шкалою кута, нанесеною на люфтомірі. Зазначене значення визначається як різниця між двома стабільними положеннями керма, які фіксуються в момент прикладання до навантажувального елемента зусиль однакового номінального значення у протилежних напрямках. Регламентовані значення зусиль обираються з урахуванням питомої маси транспортного засобу, що припадає на вісь керованих коліс.

У разі, коли у процесі прикладання нормативного зусилля до рульового колеса спостерігається початок повороту одного з керованих коліс, за фіксовані приймаються саме ті положення керма, які відповідають початковому моменту обертання керованого колеса. Контроль цих моментів здійснюється додатковим оператором - або шляхом візуального спостереження, або з використанням технічних засобів, наприклад, механічного індикатора.

Основні техніко-експлуатаційні параметри описуваного стенда представлені в такому вигляді:

- конструктивний тип люфтоміра - механічний прилад з універсальним функціональним застосуванням;
- сумісність із рульовими колесами діаметром від 325 до 550 мм;
- межі вимірювання кутового люфту - від 0 до 30 градусів;
- нормована абсолютна похибка результатів вимірювання люфту - не перевищує 5%;
- відносна похибка прикладеного зусилля - в межах від -8% до +8%;
- середня тривалість одного циклу вимірювання, включаючи монтаж і демонтаж пристрою - 3–5 хвилин;
- компактність конструкції - мінімальні габарити 363×112×140 мм;
- маса виробу - 1,2 кг;
- гарантійний термін експлуатації - 10 років [5].

До ключових переваг даної конструкції можна віднести наступне:

- повна енергетична незалежність - пристрій функціонує без потреби у зовнішніх джерелах живлення;

– здатність здійснювати вимірювання зусилля, прикладеного до рульового колеса в контрольних умовах.

Водночас стенд має певні експлуатаційні обмеження:

– складність та витратність у процесі встановлення і зняття приладу з рульового колеса;

– наявність відносно високої похибки, що знижує точність у порівнянні з цифровими аналогами.

Згідно з описом стенда, наведеним у керівництві з експлуатації, люфтомір (рисунок 3.3) складається з електронного приладового блока (1) для обробки та візуалізації інформації, який має органи керування, а також оптико-механічний датчик для вимірювання кута повороту та два датчики переміщення керованих коліс (2). Приладовий блок закріплюється на телескопічному захваті, що встановлюється й фіксується на ободі рульового колеса завдяки силі тертя, яка створюється розтягуванням пружин.

Принцип дії приладу полягає у вимірюванні кута повороту рульового колеса шляхом перетворення сигналу від гіроскопічного датчика кута повороту, а також реєстрації моментів спрацьовування датчиків переміщення керованих коліс під час вибору люфту в обох напрямках обертання керма.

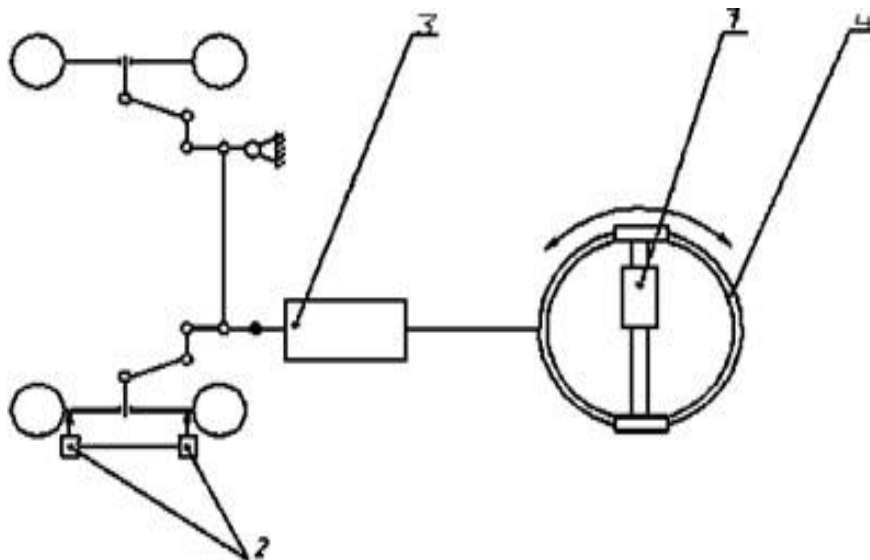


Рис. 3.3. Вимірювач сумарного люфту рульового керування автотранспортних засобів, марка ІСЛ-401:

1 – приладовий блок; 2 – датчики переміщення колеса; 3 – рульовий механізм; 4 – рульове колесо.

Конструктивно прилад виконаний у вигляді окремого блоку, який

кріпиться на рульовому колесі, та виносних датчиків переміщення керованих коліс. У самому приладовому блоці розміщено гіроскопічний перетворювач кута повороту, буквено-цифровий індикатор та мікропроцесорний модуль обробки сигналів.

Технічні характеристики зазначеного стенда:

- діапазон вимірювання кута повороту, град - 0–40;
- діапазон діаметрів рульового колеса, мм - 360–550;
- відстань між упорами датчика, мм - 405–580;
- тривалість перевірки, с - 90;
- електроживлення від вбудованого акумулятора, В - 12;
- габаритні розміри, мм - 435×160×85;
- маса, кг - 4.

Серед основних переваг аналізованого стенда варто виокремити мінімальний час, необхідний для виконання одного циклу вимірювання, що включає процес встановлення та демонтажу люфтоміра з рульового колеса. Додатковою перевагою є висока точність результатів вимірювання, що характеризується низькою відносною похибкою. Живлення пристрою реалізовано за рахунок інтегрованого акумулятора, що забезпечує автономну роботу без підключення до зовнішніх джерел енергії.

До недоліків конструкції слід віднести відсутність функціоналу для визначення зусилля, яке прикладається до рульового колеса під час вимірювань.

Відповідно до інформації, викладеної в експлуатаційній документації, конструкція люфтоміра (рисунок 3.4) охоплює два основні функціональні компоненти:

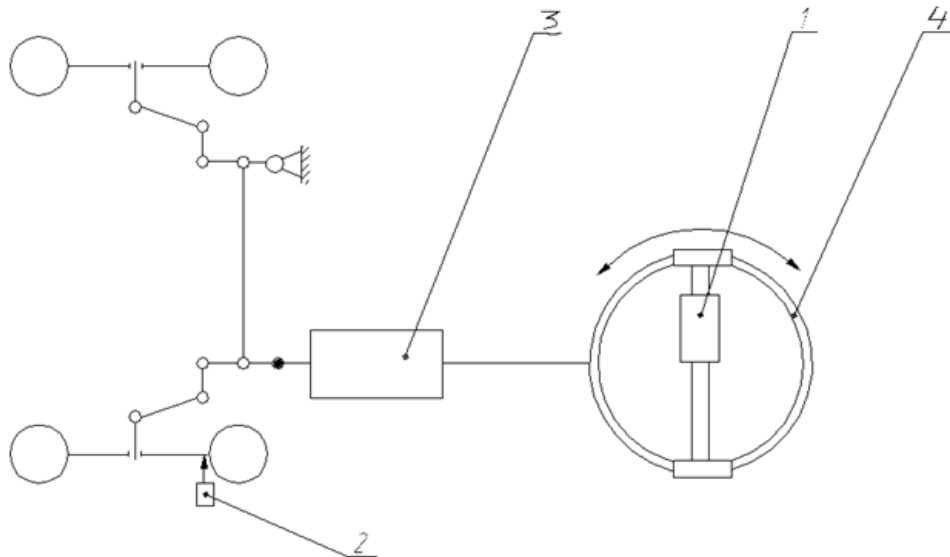
- електронний модуль (1), що виконує обробку та індикацію результатів вимірювання, оснащений органами керування та інтегрованим оптико-механічним сенсором для фіксації кута повороту;
- сенсор контролю руху колеса (2), призначений для реєстрації переміщення керованих коліс.

Основний блок люфтоміра фіксується безпосередньо на ободі керма за допомогою телескопічного тримача. Його стабільне положення забезпечується

за рахунок сили тертя, яка виникає внаслідок натягу пружин. Принцип дії системи ґрунтується на гіроскопічному методі - зміна положення керма реєструється через перетворення сигналів з датчика кута повороту, а момент початку руху керованих коліс фіксується індуктивним сенсором під час вибору люфту у кожному з напрямків обертання керма.



а



б

Рис. 3.4. Вимірювач сумарного люфту рульового керування автотранспортних засобів, марка ІСЛ-М:

а – загальний вигляд кутоміра ІСЛ-М; б – компоновочна схема; 1 – приладовий блок; 2 – датчики руху колеса; 3 – рульовий механізм; 4 – рульове колесо

З конструктивної точки зору, пристрій складається з приладового модуля, що закріплюється на кермі, та окремого блоку сенсора руху коліс. У корпусі приладового модуля інтегровано гіроскопічний перетворювач, алфавітно-цифровий дисплей для виводу інформації та мікропроцесорну систему обробки сигналів.

Сенсор переміщення виконаний у вигляді мобільного штативного вузла, до складу якого входять телескопічна штанга та з'єднувальні трубки. У верхній частині розташований індуктивний перетворювач переміщення, а в основі - енергоелектронний модуль із вбудованим акумулятором та блоком обробки сигналів. Для забезпечення стійкості під час експлуатації, штатив обладнаний опорними ніжками.

Основні технічні параметри даного діагностичного стенда мають такі значення:

- діапазон фіксації кута обертання рульового колеса становить від 0 до 40 градусів;
- пристрій адаптований для рульових коліс із зовнішнім діаметром у межах 360–550 мм;
- гранична допустима похибка при вимірюванні становить не більше $\pm 0,5$ градуса;
- повний цикл перевірки, включаючи монтаж та демонтаж приладу, триває до 90 секунд;
- автономне живлення здійснюється від вбудованого акумулятора з номінальною напругою 12 В;
- конструктивно прилад має компактні розміри 310×200×135 мм;
- вага пристрою складає 3 кг, що забезпечує зручність при транспортуванні та експлуатації.

Серед ключових переваг розглянутого стенда слід відзначити порівняно невеликий час, необхідний для проведення одного циклу вимірювання, що включає установку приладу на обід рульового колеса та його подальше зняття. Крім того, пристрій демонструє високу точність вимірювань - величина похибки перебуває в межах допустимих значень. Живлення здійснюється від автономного вбудованого акумулятора, що виключає необхідність

використання зовнішніх джерел електроенергії, забезпечуючи мобільність і зручність експлуатації.

Водночас, серед недоліків конструкції варто виокремити відсутність функції вимірювання прикладеного до рульового колеса зусилля, що обмежує можливості комплексної оцінки рульового керування.

Проведене зіставлення технічних параметрів існуючих засобів контролю технічного стану рульових систем свідчить про те, що жоден із розглянутих стендів не забезпечує повноцінного аналізу всіх критичних характеристик рульового механізму. Так, модель К-524 дозволяє вимірювати як кутовий люфт, так і зусилля, що прикладається водієм до керма, однак поступається за точністю та не дає змоги здійснити оцінку реактивного зусилля, яке виникає у відповідь з боку коліс. У свою чергу, пристрої серії ІСЛ-401 та ІСЛ-М реалізують лише функцію визначення сумарного люфту, не враховуючи інші важливі параметри функціонування системи керування.

У таблиці наведено основні технічні параметри розроблюваного стенда, що свідчать про його відповідність сучасним стандартам, які встановлені для приладів цього типу, призначених для контролю технічного стану рульового керування:

- Конструктивне виконання люфтоміра: електромеханічна система універсального призначення;
- Сумісність із рульовими колесами: забезпечується обслуговування рульових ободів діаметром у межах 360–550 мм;
- Діапазон фіксації кутових переміщень: від 0 до 40 градусів;
- Максимальне навантаження, що відтворюється вимірювальним модулем, Н (кгс): 800 (80,0);
- Тривалість одного повного циклу вимірювання, включаючи монтаж і демонтаж пристрою, хв: 10–11;
- Габаритні розміри в складеному вигляді, мм: 363×300×140;
- Власна маса приладу, кг: 5;
- Тип живлення: автономне, від вбудованого акумуляторного джерела напругою 12 В.

Відповідно до інформації, характерне зусилля, що прикладається водієм

до рульового колеса легкового автомобіля, досягає 400 Н. Враховуючи це, навантажувальний механізм проєктованого стенда повинен бути здатний забезпечити щонайменше аналогічне зусилля, що відповідає нормативним умовам випробувань.

Запропонований стенд має функціональне призначення для контролю технічного стану елементів рульового керування легкових транспортних засобів. Структурно-функціональна схема пристрою зображена на рисунку 3.5.

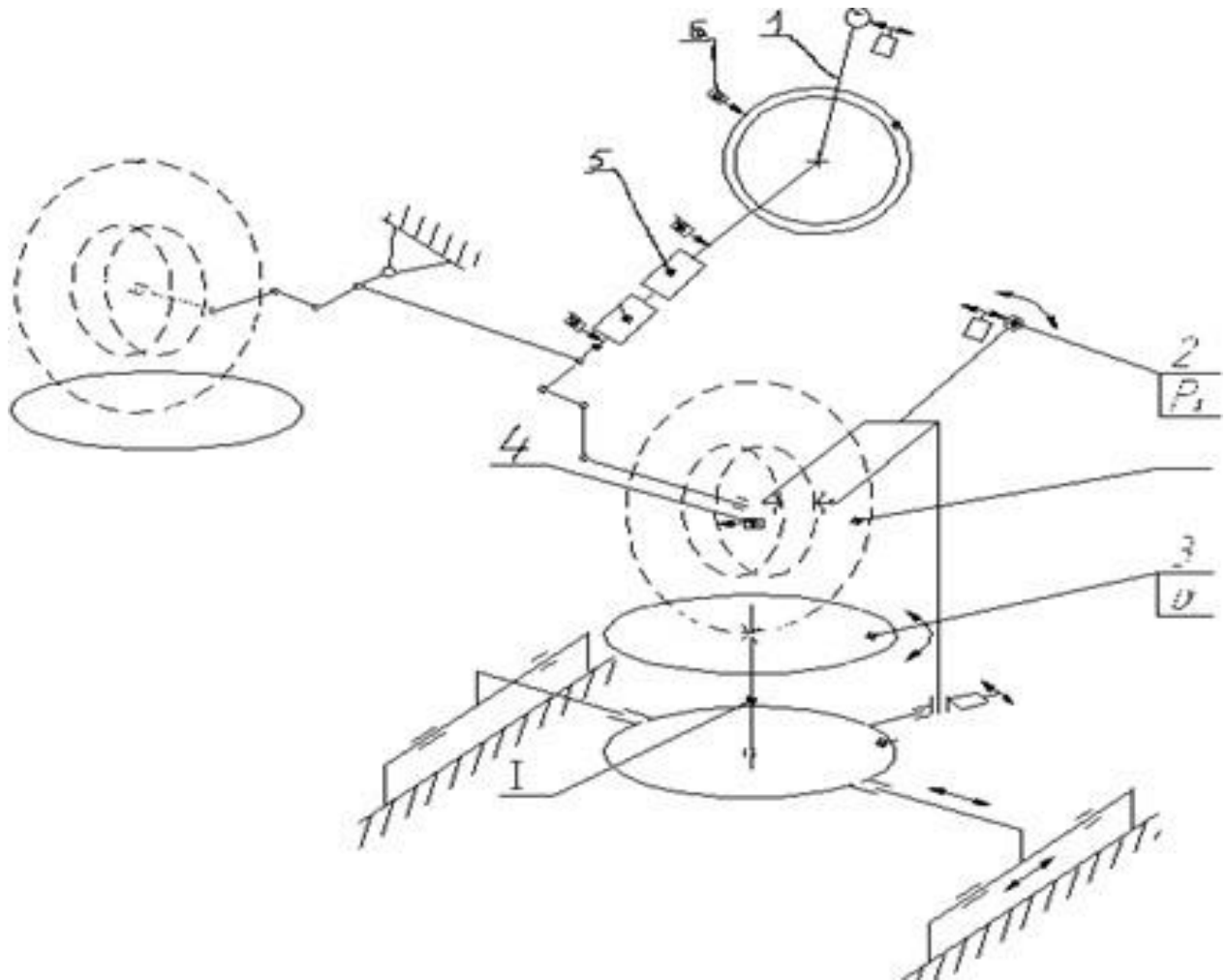


Рис. 3.5. Принципова схема проєктованого стенда для перевірки технічного стану рульового керування легкових автомобілів:

1 – динамометр-люфтомір; 2 – динамометр; 3 – поворотне коло; 4 – датчик переміщення; 5 – рульовий механізм; 6 – датчик переміщення.

Базовим елементом конструкції стенда є поворотна платформа (3), на якій фіксується кероване колесо транспортного засобу. По зовнішньому контуру платформи нанесено градуйовану шкалу, що забезпечує можливість точного визначення кута повороту колеса під час проведення випробувань. До обода

колеса закріплюється динамометрична рукоятка (2), яка слугує як для реєстрації зусиль, прикладених до керованого колеса, так і для контролю сили, що передається від рульового механізму до цього елемента через систему керування.

На рульове колесо додатково монтується спеціалізований вимірювальний модуль - динамометр-люфтомір (1), призначений для визначення величини сумарного люфту та прикладеного до рульового колеса зусилля.

Конструктивне рішення стенда включає застосування чотирьох високоточних датчиків переміщення, розміщених у ключових точках рульової системи: безпосередньо на рульовому колесі, перед рульовим механізмом, після вузла гідروпідсилювача та на ободі керованого колеса. Такий розподіл сенсорів забезпечує можливість комплексного аналізу роботи окремих складових системи рульового керування, дозволяючи точно локалізувати зони з підвищеним люфтом або надмірними втратами зусилля.

У процесі діагностики рульового керування можуть бути виявлені окремі дефекти, які слід усунути шляхом точного регулювання або заміни зношених чи пошкоджених складових. Лише після відновлення працездатності всіх елементів допускається повторне проведення контролю технічного стану рульової системи з метою підтвердження ефективності виконаних робіт.

Наступним етапом є проведення інженерних розрахунків та вибір основних конструктивних вузлів стенда, необхідних для реалізації функціонального й надійного обладнання.

3.3 Розрахунок ключових конструктивних елементів стенда

Аналіз міцності динамометричної рукоятки. У складі розроблюваного вимірювального комплексу, призначеного для контролю зусиль, що виникають при повороті керованого колеса, передбачено встановлення динамометричної рукоятки. Цей елемент конструкції сприймає згинальний момент, що виникає внаслідок прикладання сили, і виконує функцію вимірювального органа. При розрахунку рукоятки враховуються умови її навантаження, геометричні параметри, а також припустимі механічні напруження для обраного матеріалу.

Рукоятки виготовляються з конструкційної вуглецевої сталі марки 35.

Розрахунок згинального моменту, що виникає під дією навантаження, проводиться із застосуванням аналітичного виразу, який забезпечує точне визначення напруженого стану елемента.

$$M_H = P \cdot L, \quad (3.1)$$

де P - величина прикладеного до рукоятки зусилля, що в даному випадку становить 400 Н;

L - довжина рукоятки від точки прикладання сили до осі обертання, яка дорівнює 1,08 м.

Отже, згинальний момент визначається наступним чином:

$$M_H = 400 \cdot 1,08 = 432 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Розрахунок діаметра осі виконується із застосуванням відповідної аналітичної залежності:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{M_H}{0,1 \cdot [\sigma_H]}}, \quad (3.2)$$

де $[\sigma_H]$ - допустиме напруження матеріалу осі на згин, яке становить 75 МПа.

Отже:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{432}{0,1 \cdot 75 \cdot 10^6}} = 0,039 \text{ м}.$$

Розрахунковий діаметр осі не повинен бути меншим за 0,039 м. Проте з урахуванням вимог до надійності та запасу міцності доцільно прийняти номінальний діаметр, що дорівнює 60 мм.

Аналіз навантаження на шплінтове з'єднання. У конструкції розробленого стенда передбачено використання шплінтів як елементів фіксації з'єднань. Зважаючи на це, необхідно здійснити розрахунок їх опору дії зсувних навантажень.

Критерій міцності шплінта на зсув визначається наступним виразом:

$$\tau = \frac{P}{F} \leq [\tau], \quad (3.3)$$

де F – площа поперечного перерізу шплінта, визначається за формулою

(4);

$[\tau]$ – умовне допустиме напруження на зріз, що становить 120 МПа;

P – сила, що діє в місці з'єднання, величиною 400 Н.

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3.4)$$

де d позначає розмір діаметра шплінта.

Враховуючи вищезазначене, можна записати:

$$F = \frac{3,14 \cdot 6^2}{4} = 28,3 \text{ мм}^2,$$

$$\tau = \frac{400}{28,3} \leq 14,1 \text{ МПа} < [\tau] = 120 \text{ МПа},$$

Оскільки отримані результати відповідають заданим критеріям, зроблений вибір можна вважати коректним.

Під опорно-поворотним пристроєм розміщуються кульки, призначені для забезпечення можливості повороту автомобіля під час встановлення. У зв'язку з цим, кульки зазнають певного навантаження, визначення якого є необхідною умовою для подальшого проектування.

Для визначення базової динамічної вантажоздатності використовують залежність такого вигляду:

$$C_r = b_m \cdot f_c \cdot z^{\frac{2}{3}} \cdot D_w^{1,8}, \quad (3.5)$$

де b_m - коефіцієнт, що характеризує властивості сталі з урахуванням способу її обробки, який дорівнює 1,3.

де f_c - емпіричний коефіцієнт, значення якого обумовлюється фізико-механічними властивостями матеріалу деталей, їхньою конструктивною формою та рівнем точності виготовлення; у цьому випадку його величина становить 59,5;

z - кількість тіл кочення (кульок), що використовуються в вузлі, приймається рівною 30 одиницям;

D_w - номінальний діаметр кульок, що становить 15 мм.

Відтак:

$$C_r = 1,3 \cdot 59,5 \cdot 30^{\frac{2}{3}} \cdot 15^{1,8} = 19725,5 \text{ Н.}$$

Проводиться визначення еквівалентного осьового динамічного навантаження, яке сприймається кульковими елементами, згідно з відповідним розрахунковим співвідношенням:

$$P_a = F_a \cdot K_b \cdot K_m, \quad (3.6)$$

Параметр K_b характеризує динамічні умови навантаження й приймається рівним 1.

Коефіцієнт K_m , що враховує температурний вплив на роботу вузла, також приймається рівним 1.

Осьове зусилля, що діє на контактні елементи, має величину $F_a = 50000 \text{ Н}$.

Відповідно, подальші розрахунки виконуються з урахуванням зазначених значень.

$$P_a = 50000 \cdot 1 \cdot 1 = 50000 \text{ Н.}$$

Аналіз напружено-деформованого стану поворотного кільця. У процесі встановлення колеса на поворотне кільце останнє зазнає впливу згинального моменту, що призводить до виникнення пружно-пластичної деформації у вигляді прогину. З метою забезпечення надійності конструкції доцільно провести інженерний розрахунок граничної величини цього прогину, який є критичним для оцінки працездатності елемента.

Максимальний прогин визначається за аналітичним виразом:

$$V_{\max} = \frac{5ql^4}{384 \cdot EJ_x}, \quad (3.7)$$

де

q - лінійна інтенсивність навантаження, що діє на елемент, і становить 150 Н/мм ;

l - довжина навантаженої ділянки, прийнята рівною 150 мм ;

E - модуль пружності при осьовому розтягу (модуль Юнга), величина якого складає $38,4 \cdot 10^5$

J_x - момент інерції поперечного перерізу відносно осі вигину (визначається згідно з формулою 3.8).

Цей розрахунок є необхідним етапом верифікації міцності поворотного

вузла з урахуванням експлуатаційних навантажень.

$$J_x = -\frac{l \cdot a^3}{12}, \quad (3.8)$$

де a – товщина кільця, що дорівнює 2 мм.

Тоді:

$$J_x = -\frac{150 \cdot 2^3}{12} = 100,$$

Виконуємо підстановку числових параметрів у співвідношення, наведене у формулі (3.7).

$$V_{\max} = \frac{5 \cdot 150 \cdot 150^4}{384 \cdot 38,4 \cdot 10^5 \cdot 100} = 2,5 \text{ мм}.$$

Граничне значення деформаційного прогину поворотного кільця за результатами розрахунків становить 2,5 мм.

У ході виконання науково-технічного завдання було досягнуто таких результатів:

- спроектовано випробувальний стенд, функціональне призначення якого полягає у визначенні загального люфту в системі рульового керування легкових автомобілів;

- проведено інженерний аналіз та обґрунтування основних елементів конструкції зазначеного стенда, що дозволяє забезпечити його працездатність та точність вимірювань у рамках заданих експлуатаційних параметрів.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Класифікація причин виробничого травматизму

У системі профілактики виробничого травматизму й професійних захворювань має бути аналіз причин, що їх зумовлюють та особливий контроль і нагляд за травмо небезпечними ділянками робіт, та параметрами виробничого середовища.

У виробничій сфері рівень травматизму і професійних захворювань взаємопов'язаний з технологічними процесами, обладнанням, а також науково обґрунтованою організацією виробництва та ергономічною організацією робочого місця.

Статистика свідчить про те, що більшість виробничих травм в межах держави скоюється через ігнорування та нехтування працюючими елементарних вимог правил і норм безпеки під час виконання робіт.

В процесі розслідування й аналізу нещасних випадків встановлено, що переважна більшість (до 80%) їх трапляється не з технічних чи технологічних причин, а через неправильну організацію праці та дію людського чинника.

У виробничому середовищі людина вступає в контактні виробничі відносини через засоби і предмети праці між якими існує прямий і зворотній зв'язок.

Засоби праці через управління ними людиною впливають на предмет праці, який якісно змінюється або ж змінює своє положення в просторі. Наприклад, машиніст розробляє екскаватором ґрунт, вантажить його на машини чим змінює його положення у просторі. Однак і засоби праці одночасно впливають на людину, так машиніст при розробці слабких ґрунтів може отримати травму через перекидання екскаватора і т. ін.

Отже у виробничій сфері в процесі взаємодії виробничих елементів на організм людини діють, як засоби так і предмети праці, а від так організаційні і технічні чинники, а також чинники особистого характеру, що стосуються дотримання технологічної та трудової дисципліни.

Дослідженням причин виробничого травматизму і професійних захворювань встановлено таку їх класифікацію:

- Організаційні причини
- Технічні причини
- Психофізіологічні причини

До організаційних причин належить: неправильна організація праці або робочого місця, відсутність інструктажів або неякісне їх проведення, порушення технологічного режиму або трудової дисципліни, відсутність інструкцій з безпеки праці на робочих місцях, неузгодженість у діях, відсутність ПВР (проектів виробництва робіт), а також нагляду й контролю за виробничою діяльністю, відсутність засобів захисту, спецодягу і т. ін..

До технічних причин належить: проектні і конструктивні недоліки, невідповідність обладнання, транспортних та енергетичних пристроїв вимогам безпеки, недосконалість конструкцій машин, блокувальних систем, сигналізації, неправильний режим технологічного процесу, недосконале його виконання, відсутність інженерних розрахунків і т. ін..

До психофізіологічних причин належить: невідповідність умов праці анатомо-фізіологічним і психологічним характеристикам організму людини, незадовільний психологічний клімат в колективі, хворобливі стани, високий ступінь ризику, вживання алкоголю, втома і т. ін..

Така класифікація причин виробничого травматизму є досить умовною. Причинами виробничого травматизму та професійних захворювань, як показують результати розслідування, слід вважати групу взаємодіючих чинників, що пов'язані з організацією виробничої діяльності яка може спричиняти різний негативний вплив на організм людини. Здебільшого виробничі нещасні випадки та професійні захворювання носять не однопричинний, або багатопричинний характер.

Усі зазначені причини виробничого травматизму та іншого негативного впливу мають бути системою організаційних і технічних засобів, що запобігають діям шкідливих та небезпечних виробничих чинників на організм людини.

Під організаційними заходами розуміють правильну організацію праці та робочих місць, дотримання відповідного режиму праці та відпочинку, проведення якісного навчання та інструктажів. Сюди слід віднести: постійний нагляд і контроль за дотриманням вимог законодавчих актів, огороження об'єктів, небезпечних зон, облаштування проходів і проїздів, забезпечення системи освітлення та санітарно-побутового обслуговування працюючих і т. ін..

Під технічними заходами розуміють належне використання існуючих спеціальних колективних та індивідуальних засобів працюючих, виконання відповідних інженерних розрахунків, що забезпечують безпечне виконання робіт при використанні електричного струму фізичних, біологічних або інших потужностей, що певною мірою можуть спричиняти виникнення небезпечних або шкідливих обставин у виробничій сфері.

Встановлення причин виробничого травматизму і професійних захворювань має запобіжну мету, а також міру визначення відповідальності посадових осіб.

4.2 Вимоги безпеки при ремонті гідро обладнання

Робочі місця забезпечують комплектом необхідного робітника і мірального інструменту, а також відповідними підйомно-транспортними пристроями. Тут передбачають достатньо вільного місця для частин розібраних гідроагрегатів.

В приміщеннях з холодними підлогами, а також в сирих приміщеннях на робочих місцях під ноги робітників встановлюють дерев'яні настили.

Робочі місця, на яких за умов технології виконують операції, небезпечні для оточуючих, повинні мати огорожі.

Для обтирання устаткування застосовують чисті санітарно-годні обтиральні матеріали, що не містять стружки, або інших гострих предметів, які можуть пошкодити руки. Використані обтиральні матеріали складають в металеві ящики з кришками.

Адміністрація майстерні зобов'язана забезпечувати робітників пристосуваннями для прибирання стружки і інших відходів (гачками, совками, щітками і т. д.). Прибирати стружку руками забороняється.

Інструмент групують за розміром і призначенням. Інструменти, пристосування, знімачі, деталі, які зручно брати правою рукою, розташовують праворуч, ті, які легше брати лівою рукою, - ліворуч.

Стенди, вживані для розбирання і збірки гідроагрегатів, повинні бути міцно встановлені на підставах і мати стійке положення.

Вимоги безпеки до інструменту. Адміністрація майстерні зобов'язана забезпечувати працюючих справним, незношеним, правильно заточеним інструментом, що відповідає умовам роботи, а також забезпечити ретельний систематичний огляд і відбір інструменту, що зберігається в коморі. Інструмент і пристосування видають з комори тільки в справному стані.

Молотки повинні бути насаджений на дерев'яні ручки, розклинені сталевими клинами, мати поверхню бойка злегка опуклу, гладку, не збиту, без задирок, вибоїн, вм'ятин, тріщин, наклепів. Вісь ручки повинна знаходитися під прямим кутом до подовжньої осі інструменту.

Ручки інструменту виготовляють з сухого дерева твердих порід з гладкою, рівно зачищеної, без тріщин, задирок і сучків поверхнею.

Рукоятка повинна мати довжину відповідно до розміру інструменту, але не менше 150 мм і бути стягнута металевими бандажними кільцями.

Гайкові ключі використовують суворо за розмірами гайок і головок болтів. Вони не повинні мати тріщин, забоїн, задирок. Забороняється нарощувати або подовжувати ключ іншими ключами або трубами. Розсувні ключі використовують без люфту в рухомих частинах.

Гострогубці і плоскогубці не повинні мати вищерблених рукояток. Губки гострогубців повинні бути гострими, а плоскогубців - із справною насічкою.

Верстатні лещата повинні бути в повній справності, міцно захоплювати затискні вироби і мати на губках неспрацьовану насічку.

При роботі з пневматичним інструментом подачу повітря здійснюють тільки після установки його в робоче положення. Шланги до інструменту і трубопроводу кріплять способом, що не допускає зриву їх тиском повітря. Для

кріплення шлангів застосовують кільця, хомутики, затиски. Користуватися дротом забороняється.

На розбірно-складальних роботах гідроагрегатів для полегшення праці і підвищення його безпеки використовують універсальних або спеціальних знімачів і настановні пристосування. Знімачі повинні бути без тріщин і не деформовані, без зірваного або зім'ятого різьблення. Зрив знімача при сильному натягненні його робочих частин може викликати травмування робітників.

Вимірювальні прилади повинні знаходитися в чистому стані, також вони повинні задовольняти певну вимірювальну здатність, вони не повинні мати будь-яких дефектів на своїх поверхнях також їх потрібно перевіряти на еталонних деталях, для контролю за точністю вимірювання інструментів.

Вимоги до миття гідроагрегатів і їх деталей. Для миття агрегатів на ділянці використовується механізована мийна машини МП-217 в ній розташований електродвигун і елемент для підігрівання розчину для миття деталей. Потрібно вчасно проводити технічний огляд цих елементів мийки, щоб уникнути ураження робітників електричним струмом і уникнути можливість замикання електропроводки в мийці. Дуже важливо оглядати мийку на протікання рідини з мийного баку, щоб миюча рідина не потрапляла на електродвигун і електропровід.

В даний час промисловість поставляє для миття машин, вузлів і деталей нові миючі засоби у вигляді білого порошку «Лабомід-101», «Лабомід-102» і «Лабомід-203». Вони нетоксичні, негорючі і вибухобезпечні. Їх використовують у вигляді водних розчинів концентрацією в межах 10...30 г/л при температурі +70...85°C в будь-яких машинах струменевого типу. Миючий засіб «Лабомід-203» застосовують у вигляді водних розчинів концентрацією в межах 25...35 г/л при температурі - 80...100°C в машинах занурювального типу з різними засобами збудження миючих розчинів.

Ці миючі засоби не надають несприятливої дії на організм людини. Але при користуванні ними необхідне все ж передбачати засоби індивідуального захисту, оскільки при засипці можливо утворення

«пилової хмари», а при розмішуванні - розбризкування і попадання розчину на слизисту оболонку очей.

В мийних відділеннях травми можуть відбуватися унаслідок опіків і зіткнення з отруйними речовинами, бути у вигляді ударів і поранень. Тому обов'язково передбачають запобіжні пристосування і огорожі у небезпечних частин механізмів мийних установок, ванн і іншого устаткування і використання захисних засобів: мазей, паст і спецодягу.

Під час миття агрегатів гарячим розчином під тиском необхідно стежити, щоб мийну камеру ніхто з обслуговуючого персоналу не відкривав, щоб уникнути опіків і ураження дихальних шляхів.

Перед початком миття агрегату і деталей гідросистем робітник перевіряє стан мийної установки (машини), переконується в справності душового пристрою, вентиляції, надійності кріплення трубопроводів, сальників, підігрівачих пристроїв, і пристосувань, прикладених до мийної машини. Лише після цього, надівши прогумований фартух, гумові рукавички і нанісши на шкіру рук захисну мазь або пасту, він приступає до роботи. Перед подрібненням і завантаженням каустичної соди мийник зобов'язаний надіти гумову маску із захисними окулярами. Для підтримки в чистоті робочого місця на початку зміни він посипає тирсою підлогу біля мийної машини, а в кінці зміни ретельно прибирає його.

Забороняється прати одяг миючим розчином і мити ним руки.

Розконсервовування деталей в гасі, дизельному паливі або в струмені пари дозволяється тільки в спеціальних закритих ваннах. Забороняється застосовувати відкритий вогонь для підігріву розчину.

Вимоги до розбірно-складальних робіт гідроагрегатів. Розбірні і складальні роботи виконують у суворій технологічній послідовності, порушення якої створює незручності, примушує застосовувати додаткові прийоми, іноді небезпечні і тому приводять нерідко до травм.

При розбірно-складальних роботах застосовують гайкові ключі тільки відповідного розміру. Розлучними ключами користуються при невеликому зусиллі для відкручування або загортання. В незручних місцях застосовують ключі з «тріскачкою» і з шарнірними рукоятками - торцеві.

У викрутки лезо повинне бути з рівними плоскими бічними гранями, а кінець - злегка затупленим. Розмір леза повинен відповідати ширині паза і розмірам головки гвинта, рукоятка - міцно з'єднана зі стрижнем викрутки і бути гладкою - без ребер і заусениців.

При випресуванні або знятті окремих деталей рекомендується застосовувати знімачі або преси. Якщо їх немає, дозволяється використовувати вибиванки з наконечниками і молотки з мідними бойками.

Встановлюючи знімач на вузол, що розбирається, стежать, щоб його лапки достатньо повно заходили в пази, прорізи і поглиблення або надійно захоплювали деталь, що знімається, а силовий гвинт мав добрий упор по осі вузла. Обертають силовий гвинт плавно і без великих зусиль. Під час натягу деталей знімача уважно стежать за положенням лапок і знімача в цілому, щоб він не зірвався з вузла.

На складальних роботах для перевірки поєднання отворів двох різних вузлів користуються борідками або спеціальними настановними пристосуваннями. Робити це пальцями не можна.

Стенди мають пристрої, що дозволяють повертати вузол на кут, що забезпечує зручний доступ до окремих деталей. Це полегшує умови праці, але може виявитися і небезпечним, якщо робітник забув укріпити вузол на стенді або застопорити пристосування або сам стенд у встановленому положенні.

Після закінчення збірки агрегату, механізму або вузла і перед перевіркою його у дії стежать, щоб в них не опинилося сторонніх предметів, які можуть стати причиною поломки або бути небезпечними для працюючих.

Вимоги до діагностування гідроагрегатів. Гідроагрегати працюють при високих тисках, що можуть бути небезпечні при недбалому приєднанні гідроагрегату до діагностичного стенду. Потрібно завжди перевіряти місця з'єднання трубопроводів, як гнучких так і жорстко закріплених. Для діагностування відремонтованих механізмів потрібно добре їх закріпити на діагностичному стенді, щоб уникнути при перевірці вібрацій, які можуть пошкодити і стенд, і завдати шкоди робітнику. Також не можна торкатися рухомих деталей гідроагрегатів під час діагностування це може привести до травматизму робітника.

За виявленням щонайменшого просочування рідини повинна слідувати негайна зупинка насоса. Найсуворішим чином забороняється здійснювати будь-які операції по затисканню або підтяжки сполук, поки гідросистема знаходиться під тиском. Здійснюючи діагностування гідро обладнання гідросистем робітнику необхідно уважно слідкувати за тим щоб рукава і шланги не закручувалися. Виявивши навіть найменші розширення трубопроводів потрібно зупинити насос і замінити пошкоджену ділянку на нову.

Вимоги безпеки до в'їзду і виїзду з підприємства. Загальні вимоги щодо улаштування в'їздів на територію підприємства встановлює розділ 5.8 Правил охорони праці на автомобільному транспорті (НПАОП 60.21.2897).

- Ворота основного в'їзду розташовують на відстані не менше ніж найбільша довжина автомобілів, що експлуатуються на підприємстві, включаючи автопоїзди, від основного проїзду вулиці, дороги;

- Ширину в'їзних воріт необхідно приймати по найбільшій ширині автомобілів, що використовуються, плюс 1,5 м, але не менше 4,5 м;

- Стулчасті ворота виробничих приміщень повинні відчинятися назовні, а для в'їзду на територію підприємства і виїзду з неї – усередину, при цьому ворота повинні бути обладнані пристроями, що виключають їх самовільне зачинення або відчинення. Підйомні ворота повинні бути обладнані уловлювачами (фіксаторами), що забезпечують утримання воріт у піднятому положенні при обриві тросів або несправності механізму підйому;

- Виїзд (в'їзд) автомобілів із цокольних чи підвальних поверхів будівлі через перший поверх не допускається (дозволяється) тільки через зовнішні ворота.

- Територія при в'їзді в темний час доби повинна освітлюватися, бути рівною, без виступаючих частин, очищеною, спланованою таким чином, щоб забезпечити відведення стічних вод до водостоків. В'їзний ухил повинен бути не більше 5%.

- Для організації безпечного руху по території підприємства його власник розробляє та затверджує схему (маршрути) руху транспортних засобів із зазначенням дозволених та заборонених напрямків руху, розташування

основних і допоміжних будівель, запасних в'їздів виїздів, розворотів, місць вантажно-розвантажувальних робіт, стоянки тощо. Плакат зі схемою руху вивішується на видному місці при в'їзді на територію. Згідно з цією схемою встановлюють відповідні знаки на території підприємства. Швидкість руху транспортних засобів по території підприємства не повинна перевищувати 10 км/год, а в приміщеннях – 5 км/год.

- Проїзна частина та межі майданчиків, призначених для стоянки транспортних засобів, позначаються відповідною дорожньою розміткою, яка повинна відповідати вимогам Правил дорожнього руху, затверджених постановою Кабінету Міністрів від 10.10.2001 р. № 1306 та безпосередньо ДСТУ 2587:2010 «Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролювання. Правила застосування».

- Для проходу працівників на територію підприємства повинна бути влаштована прохідна. Прохід працівників через ворота забороняється.

4.3 Правила техніки безпеки при експлуатації абразивних кругів

Робота з абразивними інструментами представляє підвищену небезпеку унаслідок високих швидкостей різання, можливості розриву круга, утворення абразивного пилу і наявності аерозолів СОЖ. Оператор, що працює на шліфувальних і заточних верстатах абразивними інструментами, повинен добре знати і неухильно дотримуватись правил техніки безпеки. Недотримання цих вимог може спричинити нещасні випадки, зокрема серйозні травми внаслідок пошкодження очей або шкіри, порізів та забоїв від уламків інструмента. Для уникнення таких ситуацій обов'язково необхідно використовувати захисні окуляри, респіратори, спецодяг та засоби індивідуального захисту рук і органів слуху. Також важливим є регулярний контроль стану абразивних кругів на наявність тріщин або дефектів перед початком роботи, правильне закріплення інструментів, дотримання допустимих швидкостей різання та використання справних захисних екранів на обладнанні.

Перед початком роботи кожен круг до установки на верстат має бути перевірений на відсутність тріщин, вибоїн і інших дефектів. Круг без тріщин,

підвішений на дерев'яний або металевий стрижень, при легкому простукуванні по торцю дерев'яним молоточком повинен видавати чистий звук. Круг із звуком, що деренчить, бракується. Перед установкою на шліфувальний або заточний верстат круг має бути випробуваний на міцність на спеціальних верстатах з швидкістю в 1,3- 1,5 разу більше робочої швидкості протягом 3-5 мін залежності від діаметру круга.

Після закріплення у фланцях круг необхідно балансувати. Статичне балансування виробляється на спеціальних верстатах, простих по своїй конструкції. Вони мають два паралельних сталевих, загартованих, чисто і точно прошліфованих валика, посередині яких встановлюється круг на облямовуванні. У фланцях є важки балансувань, які переміщаються в кільці пазу в потрібне положення до тих пір, поки круг з облямовуванням рівноважно не стоятиме на валиках стійко в будь-якому положенні.

Зазор між периферією круга і передньою кромкою запобіжного козирка або кожуха має бути не більше 6 мм. Форму і товщину стінок захисних кожухів для шліфувальних кругів залежно від їх розміру і робочої швидкості.

На робочому місці повинні бути створені належні умови, що гарантують безпеку та ефективність виконання шліфувальних операцій. Категорично забороняється знаходження на робочому столі будь-яких зайвих предметів, що можуть заважати роботі або створювати ризики для оператора. Поверхні обладнання, а також прилеглі ділянки робочого простору повинні регулярно очищуватись від пилу, бруду, залишків мастил та СОЖ. На підлозі необхідно обладнати спеціальний дерев'яний настил, який запобігатиме ковзанню та покращуватиме умови роботи.

Перед початком виконання шліфувальних робіт працівник повинен обов'язково вдягнути захисні окуляри, а також одягти спеціальний робочий халат, який має бути щільно застебнутий та мати вузькі манжети, що запобігає захопленню деталей одягу рухомими частинами верстата. Також оператору слід попередньо провести перевірку технічного стану обладнання, переконатися у справності верстата, надійності кріплення абразивних інструментів, а також перевірити стан та достатність місцевого освітлення для забезпечення чіткої видимості робочої зони. Виконання всіх зазначених заходів дозволить звести до

мінімуму ймовірність виникнення виробничих травм та аварійних ситуацій. Під час виконання операцій правки шліфувальних кругів необхідно дотримуватись аналогічних заходів безпеки, як і при виконанні шліфувальних та заточувальних робіт. Інструмент, який використовується для правки, має бути надійно зафіксований на верстаті, щоб уникнути його переміщення чи зсуву під час роботи. При застосуванні ручних пристроїв для правки обов'язковою є наявність спеціальних опорних поверхонь для їх стійкого розташування на підручниках, а також упорів, що запобігають можливості неконтрольованого виривання інструменту з рук оператора під час виконання операції. Підведення правлячого інструменту до поверхні абразивного круга необхідно здійснювати повільно, плавно та без різких рухів, що дозволяє мінімізувати ризик виникнення пошкоджень інструменту та забезпечити безпеку працівника. Крім того, оператор повинен застосовувати засоби індивідуального захисту та постійно контролювати стан і якість поверхні абразивного круга протягом усієї операції правки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі проведено всебічний технічний аналіз конструкції та умов експлуатації вала сошки, що є критично важливою деталлю у системі гідропідсилювача рульового керування вантажного автомобіля КрАЗ-260. Встановлено основні види пошкоджень – знос посадкових шийок, спрацювання шліцьових елементів і появу тріщин у зоні зубчастого профілю.

На основі порівняльної оцінки сучасних методів відновлення (залізнення, наплавлення під флюсом, електродугове зварювання) обґрунтовано доцільність їх застосування відповідно до конкретних дефектів. Визначено, що залізнення є оптимальним для зношених шийок, а наплавлення під флюсом – для шліцьових елементів.

Розроблено покроковий технологічний маршрут відновлення вала сошки, який охоплює операції токарної, шліфувальної, фрезерної, термічної та зварювальної обробки. Забезпечено логічну послідовність процесу з урахуванням технологічних базувальних і мінімізації похибок.

Виконано обґрунтування вибору технологічного обладнання, інструментів та оснащення для реалізації кожного етапу ремонту. Розраховано припуски на обробку, режими різання, а також визначено нормативи часу для основних операцій.

Проведено аналітичний розрахунок навантажень у системі рульового керування та оцінено міцність відновленого вузла з урахуванням робочих навантажень. Показано, що запропонований процес відновлення дозволяє відновити геометричну точність і механічні характеристики деталі на рівні, що відповідає експлуатаційним вимогам.

Розроблено технічну пропозицію та виконано проектування основних елементів випробувального стенда для перевірки рульового вузла. Запропонована конструкція відповідає вимогам функціональності, точності та безпеки.

У розділі з охорони праці класифіковано основні джерела виробничих ризиків і подано перелік заходів щодо забезпечення безпечних умов під час

проведення ремонтних робіт, зокрема під час зварювання та роботи з абразивними колами.

Отримані результати мають високу практичну цінність для підприємств, які спеціалізуються на технічному обслуговуванні та ремонті важкої автотехніки. Запропонований технологічний процес може бути використаний як типова технологія при відновленні аналогічних деталей у системах рульового керування вантажних автомобілів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. / Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. -6-те вид. - К.: Либідь, 2006. - 400 с.
3. Керівництво по ремонту та експлуатації автомобіля КрАЗ 260 / 126с.
4. Технічний контроль стану дорожніх машин / Малишев В., Кущевська Н., Петренко Т, Докуніхін В. - Університет "Україна", 2022. 252 с.
5. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.
6. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
7. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
8. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
9. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с. – (Нормативний документ Мінтрансу України).
10. Dominique Paret (Author), Hassina Rebaine(Author), Autonomous and Connected Vehicles: Network Architectures from Legacy Networks to Automotive Ethernet 1st Edition Wiley; 1st edition (March 15, 2022) - 416 pages
11. The Car Book: The Definite Visual Guide Dorling Kindersley 2022 рік,- 368 pages

12. Per Enge (Author), Nick Enge (Author), Stephen Zoepf Electric Vehicle Engineering 1st Edition, Kindle Editio McGraw Hill; 1st edition (January 24, 2021) - 209 pages
13. Tom Denton Electric and Hybrid Vehicles 2nd Edition, Kindle Edition Routledge; 2nd edition (June 29, 2020)- 222 pages
14. Шапко В.Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник. - Кременчук: КНУ, 2011. - 194 с.
15. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
16. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
17. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с. – (Нормативний документ Мінтрансу України).
18. Андрусенко С. І. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: навч. посіб. / Андрусенко С. І., Білецький В. О., Бортницький П. І.; за ред. проф. С. І. Андрусенка. – К. : Каравела, 2009. – 368 с.
19. Законодавство України про автомобільний транспорт: збірник законодавчих актів : станом на 1 травня 2005 р. / Верховна Рада України. – К.: Парламентське видавництво, 2005. – 140 с. – (Нормативні директивні правові документи).
20. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.
21. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: організація, планування і управління : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К.: "Вища школа", 1994. – 383 с.

22. О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф.Фролов Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.

23. Ткаченко І. Г., Левкович М. Г. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». Тернопіль : ТНТУ, 2024. 118 с.

24. Войналович, О. В., Марчиниша, Є. І., Кофто, Д. Г. (2020). Охорона праці в галузі (автомобільний транспорт): навчальний посібник. Харків: ХНАДУ. 695 с.