

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Відновлення поворотного кулака вантажного автомобіля»

Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 132 Матеріалознавство
Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр КвРМТВА. 23118.02.17.00

Виконав студент 3-го курсу
група МТВАс 23-2
Шифр



Підпис

Євген ЧОРНОМОРЕЦЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання



Підпис

Олександр РУДИК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

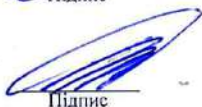
Нормоконтролер



Підпис

Олег МАКОВКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва



Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 9.06.2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедрою ТАМ
Диха О.В.
" 15 " 04 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Чорноморцю Євгену Ігоровичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: «Відновлення поворотного кулака вантажного автомобіля»

Керівник роботи: Рудик Олександр Юхимович к.т.н., доцент
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7 (Д 14)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту:

Матеріали переддипломної практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла дослідження.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1 Характеристика вантажного тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗіЛ-131.

2 Загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт.

3 Вибір матеріалу поворотного кулака та режиму його термообробки.

4 Розробка технологічного процесу відновлення поворотного кулака.

5 Розробка та дослідження працездатності універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

– графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строки виконання	Примітка
1	<i>Характеристика вантажного тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗіЛ-131.</i>	18.04.26	ВИК.
2	<i>Загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт.</i>	24.04.2026	ВИК.
3	<i>Вибір матеріалу поворотного кулака та режиму його термообробки.</i>	01.05.2026	ВИК.
4	<i>Розробка технологічного процесу відновлення поворотного кулака.</i>	10.05.2026	ВИК.
5	<i>Розробка та дослідження працездатності універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION</i>	20.05.2026	ВИК.
6	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи.</i>	29.05.2026	ВИК.
7	<i>Висновки.</i>	05.06.2026	ВИК.
8	<i>Захист роботи.</i>	11.06.2026	

Студент


Підпис

Євген ЧОРНОМОРЕЦЬ
Ім'я, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Олександр РУДИК
Ім'я, прізвище

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 73 сторінок, кількість рисунків – 13, таблиць – 10, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 31.

Студент гр. МТВАс-23-2 Чорноморець Є.І.

Тема «Відновлення поворотного кулака вантажного автомобіля».

Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці відновленню поворотного кулака вантажного автомобіля.

У кваліфікаційній роботі вирішувались наступні завдання:

– розглянути характеристику вантажного тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗіЛ-131;

– навести загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт;

– вибрати матеріал поворотного кулака та режим його термообробки;

– розробити технологічний процес відновлення поворотного кулака;

– провести розробку та дослідити працездатність універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION.

Перелік ключових слів: ЗІЛ-131, ПЕРЕДНЯ ПІДВІСКА, ПОВОРОТНИЙ КУЛАК, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ВІДНОВЛЕННЯ, ЗАЛІЗНЕННЯ, ВІБРОДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, УНІВЕРСАЛЬНИЙ ЗНІМАЧ ПІДШИПНИКІВ, SOLIDWORKS SIMULATION

Зміст

Анотація	6
Abstract	7
Перелік скорочень.....	8
Вступ	10
1 Характеристика вантажного тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗіЛ-131.....	11
2 Загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт.....	15
2.1 Загальні відомості про поворотний кулак	15
2.2 Функції поворотного кулака	16
2.3 Основні несправності поворотного кулака	17
2.4 Відновлення поворотного кулака.....	19
2.5 Ремонт поворотного кулака	20
3 Вибір матеріалу поворотного кулака та режиму його термообробки.....	22
3.1 Вибір матеріалу поворотного кулака.....	22
3.2 Вплив хімічного складу на структуру та властивості сталі 38ХА.....	24
3.3 Вплив легування на перетворення сталі 38ХА	24
3.3.1 Інтервал температур нагріву при відпалі та гартуванні сталі 38ХА25	
3.4 Термообробка сталі 38ХА, можливі дефекти	25
3.4.1 Вибір режиму термообробки сталі 38ХА	25

КвРМТВА. 23118.02.17.00								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Чорноморець				Відновлення поворотного кулака вантажного автомобіля	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Рудик					4	76	
Н. Контр.	Маковкін				ХНУгр.МТВАс-23-2			
Затверд.	Диха							

Зміст

Анотація	6
Abstract	7
Перелік скорочень.....	8
Вступ	10
1 Характеристика вантажного тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗіЛ-131	11
2 Загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт	15
2.1 Загальні відомості про поворотний кулак.....	15
2.2 Функції поворотного кулака.....	16
2.3 Основні несправності поворотного кулака	17
2.4 Відновлення поворотного кулака.....	19
2.5 Ремонт поворотного кулака	20
3 Вибір матеріалу поворотного кулака та режиму його термообробки.....	22
3.1 Вибір матеріалу поворотного кулака.....	22
3.2 Вплив хімічного складу на структуру та властивості сталі 38ХА.....	24
3.3 Вплив легування на перетворення сталі 38ХА.....	24
3.3.1 Інтервал температур нагріву при відпалі та гартуванні сталі 38ХА25	
3.4 Термообробка сталі 38ХА, можливі дефекти	25
3.4.1 Вибір режиму термообробки сталі 38ХА	25

					КвРМТВА. 23118.02.17.00			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Чорноморець				Відновлення поворотного кулака вантажного автомобіля	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Рудик						4	76
Н. Контр.	Маковкін				ХНУгр.МТВАс-23-2			
Затверд.	Диха							

4 Розробка технологічного процесу відновлення поворотного кулака.....	27
4.1 Технічні вимоги на дефектацію поворотного кулака	27
4.2 Дефекти поворотного кулака та причини їх виникнення.....	28
4.3 Технічні вимоги до відремонтованого поворотного кулака	29
4.4 Вибір раціонального способу відновлення поворотного кулака	30
4.5 Розробка технологічного процесу механічної обробки поворотного кулака після відновлення	34
4.5.1 Вибір технологічних баз для механічної обробки	34
4.5.2 Технологічна схема усунення дефектів поворотного кулака	37
4.5.3 Вибір устаткування для усунення дефектів та відновлення поворотного кулака.....	37
4.5.4 Розрахунок норм часу для усунення дефектів та відновлення поворотного кулака	39
5 Розробка та дослідження працездатності універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION.....	46
5.1 Системи інженерних розрахунків та аналізу CAD/CAD/CAE	46
5.2 Основні принципи SOLIDWORKS SIMULATION	48
5.2.1 Основні поняття MCE	49
5.2.2 Переваги аналізу	51
5.3 Конструювання універсального знімача підшипників	53
Висновки.....	59
Список використаних джерел	62
Додатки	65

Анотація

Окрім виконання безпосередніх транспортних функцій, автомобіль ЗІЛ-131 широко застосовується як універсальне базове шасі для розміщення різноманітних зразків бойової техніки. Зокрема, на його платформі монтуються системи озброєння, спеціальне обладнання та допоміжні комплекси, що значно розширює сферу його використання у ЗСУ.

Поворотний кулак є сполучною ланкою між важелями підвіски і колесом, він повертає колеса: від керма через кермову систему на поворотний механізм передається сила, й тоді кулак розвертає колеса під потрібним кутом. Тому представлені загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт. Вибрані раціональні способи його відновлення.

Розроблений технологічний процес механічної обробки поворотного кулака після відновлення. Проведено дослідження універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

In addition to performing direct transport functions, the ZIL-131 vehicle is widely used as a universal base chassis for accommodating various types of military equipment. In particular, weapons systems, special equipment, and auxiliary complexes are mounted on its platform, which significantly expands the scope of its use in the Armed Forces of Ukraine.

The steering knuckle is a connecting link between the suspension arms and the wheel, it turns the wheels: from the steering wheel through the steering system, force is transmitted to the turning mechanism, and then the knuckle turns the wheels at the desired angle. Therefore, general information about the steering knuckle, its functions, main malfunctions, restoration and repair is presented. Rational methods for its restoration are selected.

A technological process for mechanical processing of the steering knuckle after restoration has been developed. A study of a universal bearing puller for the front suspension of automobiles has been conducted using SOLIDWORKS SIMULATION.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень

ЗСУ – збройні сили України.

ТО – технічне обслуговування.

АТ – автомобільна техніка.

АТО – антитерористична операція.

БМ – бойова машина.

РСЗО – реактивна система залпового вогню.

ДТП – дорожньо-транспортна пригода.

СТО – станція технічного обслуговування.

ТЗ – транспортний засіб.

C – вуглець.

Cr – хром.

Al – алюміній.

N₂ – азот.

Si – кремній.

Mn – марганець.

Ni – нікель.

S – сірка.

P – фосфор.

Cu – мідь.

Fe – залізо

A – азот.

s_b – межа короточасної міцності, [МПа].

s_T – межа пропорційності (межа плинності для залишкової деформації), [МПа].

d_5 – відносне подовження при розриві, [%].

ψ – відносне звуження, [%].

КСУ – ударна в'язкість, [кДж / м²].

НВ – твердість за Брінеллем, [МПа].

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МСЕ – метод скінченних елементів.

ПЗ – програмне забезпечення.

ПК – персональний комп'ютер.

КМ – комп'ютерне моделювання.

КА – комп'ютерний аналіз.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Окрім виконання безпосередніх транспортних функцій, автомобіль ЗІЛ-131 широко застосовується як універсальне базове шасі для розміщення різноманітних зразків бойової техніки. Зокрема, на його платформі монтуються системи озброєння, спеціальне обладнання та допоміжні комплекси, що значно розширює сферу його використання у ЗСУ. Поворотний кулак – це ключовий елемент передньої підвіски автомобіля: він повертає колеса: від керма через кермову систему на поворотний механізм передається сила, й тоді кулак розвертає колеса під потрібним кутом. Тому представлені загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

- розглянути характеристику вантажного тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗіЛ-131;
- навести загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт;
- вибрати матеріал поворотного кулака та режим його термообробки;
- розробити технологічний процес відновлення поворотного кулака;
- провести розробку та дослідити працездатність універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Характеристика вантажного тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗІЛ-131

Серед вантажних армійських автомобілів, які й надалі експлуатуються у складі ЗСУ, значне місце посідають вантажні автомобілі марки ЗІЛ. Попри тривалий період експлуатації та моральне старіння окремих конструктивних рішень, ці транспортні засоби й досі відіграють важливу роль у забезпеченні функціонування військової логістики та виконанні різноманітних завдань.

Разом з іншими середньотонажними автомобілями зазначені машини становлять вагому частку автопарку, яка, за наявними оцінками, сягає близько 80% загальної кількості військового автотранспорту [1]. Це свідчить про їх значну поширеність, а також про необхідність підтримання їх у працездатному стані. Водночас процес оновлення технічного парку за рахунок сучасних зразків – як вітчизняного виробництва, так й іноземних аналогів – відбувається поступово, з урахуванням наявних ресурсів і пріоритетів.

У зв'язку з цим на перший план виходять завдання, пов'язані із забезпеченням надійної експлуатації наявної техніки. До них належать своєчасне ТО, виконання поточного та капітального ремонту, а також впровадження елементів часткової модернізації, спрямованої на підвищення експлуатаційних характеристик і продовження ресурсу машин. Реалізація цих заходів дозволяє підтримувати належний рівень боєздатності АТ в умовах обмежених можливостей швидкої заміни на нові зразки.

Перехід рашистсько-українського протистояння у повномасштабну фазу суттєво змінив пріоритети у сфері оновлення військової автомобільної техніки, зумовивши поступове зміщення акцентів із модернізації на планомірну заміну застарілих зразків сучасними автомобілями, що відповідають стандартам НАТО. Такий підхід обумовлений необхідністю підвищення ефективності, надійності та уніфікації технічного забезпечення в умовах сучасних бойових дій.

Водночас значна кількість автомобілів типу ЗІЛ-131 ще тривалий час залишатиметься в експлуатації у складі підрозділів. Це зумовлює потребу у

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтриманні їх працездатності шляхом проведення регулярного технічного обслуговування, а також виконання поточних ремонтів як механічних вузлів, так і допоміжного обладнання. Таким чином, поряд із оновленням автопарку, зберігає актуальність завдання забезпечення належного технічного стану наявної техніки,

Окрім виконання безпосередніх транспортних функцій (транспортна машина 9Т450 створена на тому ж шасі від ЗІЛ-131), автомобіль ЗІЛ-131 широко застосовується як універсальне базове шасі для розміщення різноманітних зразків бойової техніки. Зокрема, на його платформі монтуються системи озброєння, спеціальне обладнання та допоміжні комплекси, що значно розширює сферу його використання у ЗСУ.

Яскравим прикладом такого застосування є бойова машина 9Р138, яка є спрощеним варіантом реактивної системи залпового вогню БМ-21 «Град», встановлений на базі ЗІЛ-131 (рис. 1.1). Використання цього шасі забезпечує достатню мобільність, прохідність і надійність у польових умовах, що робить таку модифікацію ефективною для виконання бойових завдань [2, 3].



Рисунок 1.1 – 9Р138 «Град-1» на шасі ЗІЛ-131

РСЗО «Град» (індекс ГРАУ — 9К51) призначена для поразки відкритої і укритої живої сили, неброньованої техніки і бронетранспортерів в районі зосередження, артилерійських і мінометних батарей, командних пунктів та інших цілей, рішення інших завдань в різних умовах бойової обстановки.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для транспортування снарядів в ящиках можуть використовуватися вантажні автомобілі народногосподарського призначення, а для транспортування без ящиків – уніфікований комплект стелажів 9Ф37, який монтується на вантажні автомобілі народногосподарського призначення ЗІЛ-131.

БМ 9П138 розміщена на шасі тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗІЛ-131. Вона оснащена V-подібним восьмициліндровим карбюраторним двигуном потужністю 150 к. с. при 3200 об./хв. Зчеплення – однодискове сухе, коробка передач п'ятиступінчаста з синхронізаторами для включення 2, 3, 4 і 5-й передач. Ходова частина виконана по колісній формулі бхб. Керованими є колеса переднього ведучого моста. Підвіска цього моста – залежна на подовжніх напівеліптичних ресорах, з гідравлічними телескопічними амортизаторами двосторонньої дії. Підвіска середнього і заднього мостів – балансірна, на подовжніх напівеліптичних ресорах. Шасі має централізовану систему регулювання тиску повітря в шинах. При русі по шосе БМ 9П138 розвиває максимальну швидкість $v_{\max} = 80$ км/год. Прохідність її на пересіченій місцевості досить висока, без попередньої підготовки машина форсує броди завглибшки до $h = 1,4$ м. Транспортні характеристики бойової машини наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Транспортні характеристики бойової машини

Тип шасі	ЗІЛ-131
Маса повністю спорядженої машини (без розрахунку), кг	9878
Розподіл маси по осях, кг:	
– передня вісь	2820
– задній візок	7058
Габаритні розміри, мм:	
– довжина в похідному положенні	7040
– ширина в похідному положенні	2500
– висота в похідному положенні	2480
База шасі, мм	3975

Кліренс, мм	310
Колія коліс, мм:	
– передніх	1820
– задніх	1820
Позначення шин	12.00-20
Тиск в шинах, кПа	294
Відстань центру тяжіння, мм:	
– від передньої осі	2840
– від підлоги платформи	1314
Найменший радіус повороту по колії зовнішнього переднього колеса – 200 мм	

Таким чином, багатофункціональність ЗІЛ-131 дозволяє використовувати його не лише як транспортний засіб, але й як важливу складову бойових систем, що додатково підкреслює актуальність його експлуатації та технічного обслуговування в сучасних умовах.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Поворотний кулак армійського автомобіля ЗІЛ-131

2.1 Загальні відомості про поворотний кулак

Поворотний кулак – це ключовий елемент передньої підвіски автомобіля (рис. 2.1), він повертає колеса: від керма через кермову систему на поворотний механізм передається сила, й тоді кулак розвертає колеса під потрібним кутом. Оскільки в процесі активно приймає участь кермова система, то й відноситься він до ходової системи, але включає в себе елементи кермового керування [4].

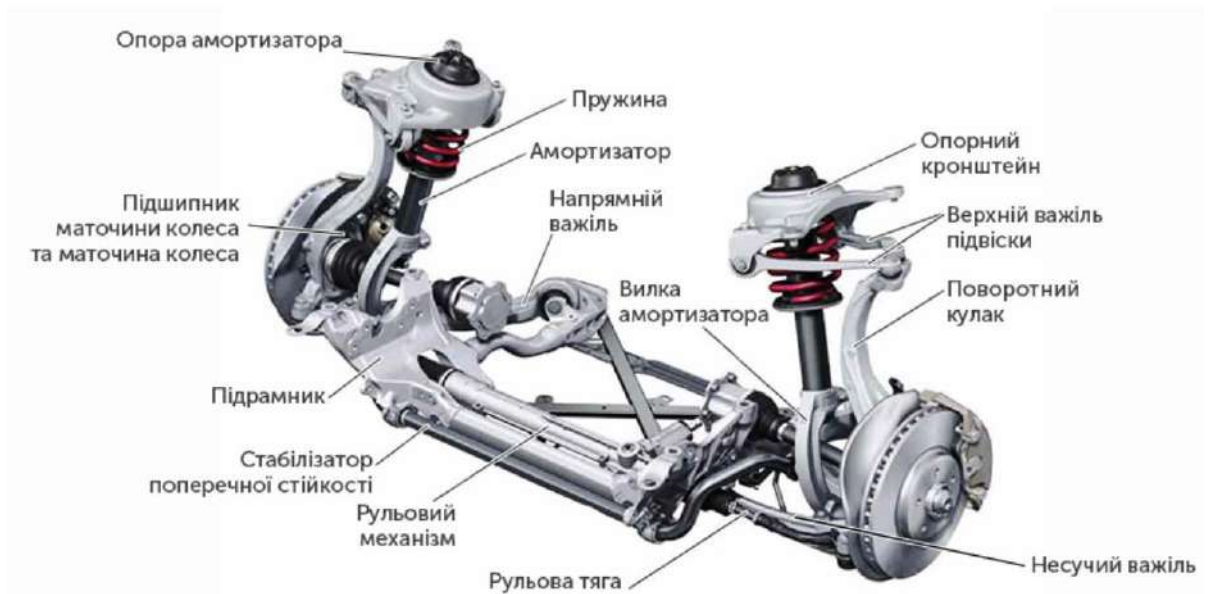


Рисунок 2.1 – Передня підвіска армійського автомобіля ЗІЛ-131

Поворотний кулак (рис. 2.2) є сполучною ланкою між важелями підвіски і колесом (таку деталь називають цапфою). Однак, якщо цапфа встановлена на підвісці з керованими колесами, то вона називається поворотним кулаком. Якщо колеса некеровані, то залишається назва «цапфа» [5].

Які елементи безпосередньо взаємодіють з поворотним кулаком [4]:

– стояк – це амортизаційний вузол, який з'єднує кузов з колесами;

						КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
							15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

– кульові опори – це нижня або верхня точка опори й кріплення поворотного кулака, яка обертається навколо своєї осі; без кульової опори поворот колеса неможливий;

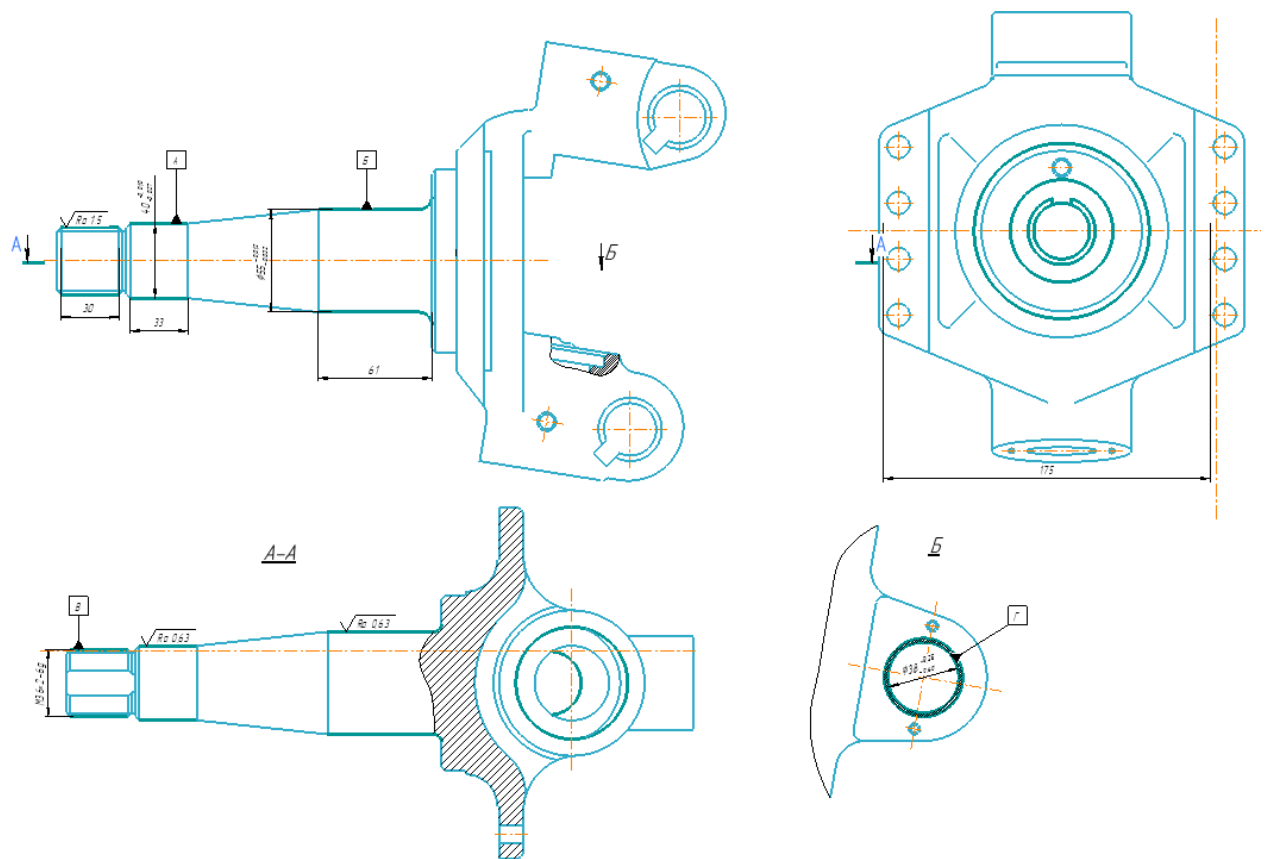


Рисунок 2.2 – Поворотний кулак передньої підвіски автомобіля ЗіЛ-131

– наконечники рулевих тяг (сила передається з керма на рулевий механізм, потім на рулеві тяги, а від них – на поворотний кулак);

– маточини (центральна частина колеса, у якій є отвори під вал; для передачі крутного моменту у маточині є або шліцьовий профіль, або шпонковий паз).

2.2 Функції поворотного кулака

Основні функції поворотного кулака включають [6]:

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Кріплення колеса: кожен поворотний кулак має з'єднання для кріплення колеса. Це дозволяє керувати напрямом руху автомобіля, коли водій крутить кермо.

2. Передача руху: поворотний кулак передає рух від керма до колеса, що дозволяє автомобілю повертатися.

3. Забезпечення стійкості: поворотний кулак також допомагає забезпечити стійкість автомобіля під час руху, особливо під час різких поворотів.

4. Маневреність: він впливає на маневреність автомобіля, дозволяючи йому легко маневрувати по дорозі.

Поворотні кулаки зазвичай мають кульові підшипники або інші механізми для забезпечення плавності обертання. Вони піддаються зносу під час експлуатації і можуть потребувати обслуговування або заміни в разі виявлення проблем.

2.3 Основні несправності поворотного кулака

Несправність поворотного кулака може проявлятися різними способами, і важливо розпізнати ці симптоми для вчасного виявлення та усунення проблеми. Вібрація або відчуття гойдання керма: якщо помічається вібрація або неприємне гойдання керма під час керування, це може бути ознакою проблеми з поворотним кулаком або його підшипниками [6].

Якщо одна або обидві передні шини зношуються нерівномірно, це може бути наслідком несправностей в поворотних кулаках або інших частинах підвіски.

Поворотний кулак ламається дуже рідко, в основному від механічних пошкоджень: при ДТП або від ударів кувалдою, коли автомеханік некоректно вибиває підшипник маточини. Основні несправності поворотного кулака [4]:

1. Руїнується різьба кріпильних отворів поворотного кулака, через які він з'єднується з супортом та іншими елементами.

Ознаки: стук коліс під час руху по нерівній дорозі — підвіска стукає на ямах. Якщо похитати колесо, то можна виявити люфт кульових опор.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як відремонтувати: автомеханік-токарь проточує пошкоджену різьбу на токарному верстаті, а потім нарізає нову різьбу.

2. Механічне спрацювання: з часом розбиваються посадкові гнізда й втулки кульових опор, підшипники маточин, тяги й наконечники.

Ознаки: гучні звуки при поворотах – це може бути скрежетання, стукіт або інші неприродні звуки, що походять з області переднього колеса під час поворотів; це може свідчити про знос або пошкодження поворотного кулака або його підшипників.

3. Підшипник маточини зношується.

Ознаки: коли зношується підшипник маточини, з'являється гул та люфт колеса під час руху.

Як відремонтувати: на СТО розбиту втулку випресовують на спеціальному гідравлічному пресі, а потім таким же чином запресовують нову. Та ж процедура працює з підшипником.

Якщо запресовується кульова опора та посадкове гніздо люфтить, то в нього запресовують футорку (це втулка або гайка, яка крім внутрішньої різьби має й зовнішню, для нарізного з'єднання більшого діаметру). Цю футорку можна купити, або замовити виточування у токаря, він же проточує посадкове гніздо на більший діаметр.

Верхня опора звичайно прикручується через палець наконечника тяги верхнього штока. Рульові тяги та наконечники треба міняти.

4. Тріщина поворотного кулака (рис. 2.3)



Рисунок 2.3 – Тріщина поворотного кулака

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ознаки: видно тріщину на поворотному кулаці; якщо тріщина глибока, то поворотний кулак ламається й може відвалитися колесо.

Як відремонтувати: поворотний кулак виготовляють зі сталі або чавуну. Деякі автомеханіки пропонують послугу зварювання тріснутого кулака. Якщо кулак чавунний, зварювання не допоможе.

Враховуючи, що саме на цей елемент припадає величезне навантаження під час водіння – зварювальні роботи по ньому можуть бути вкрай ненадійним рішенням. Тому потрібно замінити поворотний кулак.

Традиційно поворотний кулак виготовляється з ковкого чавуну або кованої сталі; однак, через недавню тенденцію до полегшення, більше автомобілів постачаються з алюмінієвими кулаками [7]. Він вимагає якісної обробки поверхні, точних радіусів та ідеально обробленої площинності. Основні вимоги до матеріалу кулака – термічна стійкість і здатність витримувати постійні механічні навантаження без ризику деформації виробу [8-10].

2.4 Відновлення поворотного кулака

Відновлення поворотного кулака включає демонтаж вузла, очищення, заміну втулок, шкворенів та перевірку цапфи. Основні роботи передбачають зняття опорного диска, поперечних/поздовжніх тяг та кришок; зношені деталі замінюють на нові, що забезпечує стабільність кермового керування.

Основні етапи відновлення поворотного кулака автомобіля ЗІЛ-131:

1. Демонтаж: зняття гальмівного барабана, опорного диска та від'єднання рульових тяг.
2. Розбирання: випресовування шквореня, зняття поворотного кулака з цапфи.
3. Дефектування: перевірка посадкових місць під підшипники та втулки шквореня на знос.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Ремонт поворотного кулака

Ремонт поворотного кулака полягає у наступному:

1. Заміна втулок розтискного кулака.
2. Заміна шкворенів та втулок шкворенів.
3. Наплавлення та проточування (якщо зношена цапфа) під номінальний розмір.

Збирання поворотного кулака:

– встановлення нових або відновлених деталей, змащування, регулювання люфтів.

Ремонт технічних засобів є комплексом організаційних і технологічних заходів, спрямованих на усунення виявлених несправностей, відновлення працездатності та продовження ресурсу машин. Він охоплює як відновлення окремих вузлів і деталей, так і забезпечення загальної надійності функціонування техніки в процесі подальшої експлуатації.

Ключовим завданням ремонтного виробництва є досягнення максимально ефективного з економічної точки зору відновлення експлуатаційних характеристик машин. Це передбачає раціональне використання залишкового ресурсу деталей та агрегатів, мінімізацію витрат на відновлювальні роботи та забезпечення необхідного рівня надійності. Важливим аспектом є також впровадження сучасних технологій ремонту, які дозволяють підвищити якість відновлення і продовжити термін служби техніки без значних капіталовкладень у її повну заміну.

Головним чинником, що забезпечує економічну доцільність ремонтних робіт, є відновлення зношених деталей і вузлів машин. У процесі відновлення, як правило, зберігаються доремонтні матеріали, а також початкові геометричні форми елементів, що дозволяє суттєво зменшити витрати на виготовлення нових комплектуючих. Заготівки, отримані після розбирання, очищення та дефектації техніки, мають значно нижчу собівартість порівняно з аналогами, виготовленими у ливарному чи ковальсько-штампувальному виробництві.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, ТП відновлення передбачає обробку меншої кількості поверхонь, що зумовлює зниження трудомісткості робіт і скорочення виробничих витрат. За умови правильно організованого та науково обґрунтованого підходу до відновлення, можливо отримати деталі з експлуатаційними характеристиками, які є близькими до показників нових виробів або навіть перевищують їх за окремими параметрами, зокрема зносостійкістю чи міцністю.

Важливо підкреслити, що відновлення зношених елементів у межах вторинного виробництва машин має не лише економічне, але й екологічне значення. Такий підхід сприяє раціональному використанню матеріальних ресурсів, зменшенню обсягів відходів і зниженню навантаження на довкілля, що відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження та сталого розвитку промисловості.

Практика, накопичена провідними західними компаніями у сфері ремонту та відновлення машин, переконливо демонструє, що після проведення якісного ремонту ресурс роботи техніки може досягати рівня нових виробів. При цьому сукупні витрати на виконання відновлювальних робіт, як правило, не перевищують 60 % від вартості виготовлення аналогічної нової продукції, що свідчить про високу економічну доцільність такого підходу [25, 26].

Наявний виробничий досвід підтверджує, що застосування науково обґрунтованих технологій ремонту, а також раціональна організація процесів відновлення деталей і вузлів дозволяють забезпечити нормативний ресурс експлуатації техніки після ремонту. Більше того, у деяких випадках завдяки використанню сучасних матеріалів, зміцнювальних технологій і вдосконалених методів обробки вдається досягти навіть кращих показників довговічності порівняно з новими виробами.

Таким чином, ефективно організоване відновлення є не лише економічно вигідною альтернативою виготовленню нових деталей, але й важливим резервом підвищення надійності та довговічності машин у сучасних умовах експлуатації.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Матеріал поворотного кулака вантажного автомобіля ЗІЛ-131

3.1 Вибір матеріалу поворотного кулака

Для виготовлення поворотного кулака доцільно застосовувати сталь 38ХА ДСТУ 7806:2015 [11-13].

Сталь 38ХА – це середньовуглецева (0,35-0,42% С) високоякісна конструкційна легована хромиста сталь, яка використовується для виготовлення деталей, що потребують високої міцності, в'язкості та стійкості до навантажень. Основне застосування: машинобудування, відповідальні деталі, турбобудування, виробництво покращуваних валів, осей, зубчастих коліс, черв'яків. Основні сфери та виробництва із сталі 38ХА [14-16]:

- машинобудування (зубчасті колеса, шестерні, вали, осі, черв'ячні пари);
- відповідальні деталі (болти, кріплення та елементи, які піддаються високим навантаженням);
- турбобудування (компоненти турбін);
- ємності (високоміцні судини великої ємності, що працюють під тиском).

Ця марка сталі також характеризується підвищеною стійкістю до температурних перепадів. Механічні властивості сталі 38ХА при $t = 20^{\circ}\text{C}$ наведені у табл. 3.1, а фізичні – у табл. 3.2.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості сталі 38ХА при $t = 20^{\circ}\text{C}$

Прокат	Розмір, мм	σ_b (МПа)	σ_T (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (кДж / м ²)
Прутки	d 25	930	780	12	50	880

Таблиця 3.2 – Фізичні властивості сталі 38ХА

T (°C)	E 10 ⁻⁵ (МПа)	ρ (кг/м ³)	R 10 ⁹ (Ом·*м)
20	1,96	7850	290

Сталь 38ХА характеризується наступними хімічними складовими (рис. 3.1):

									Арк.
									22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

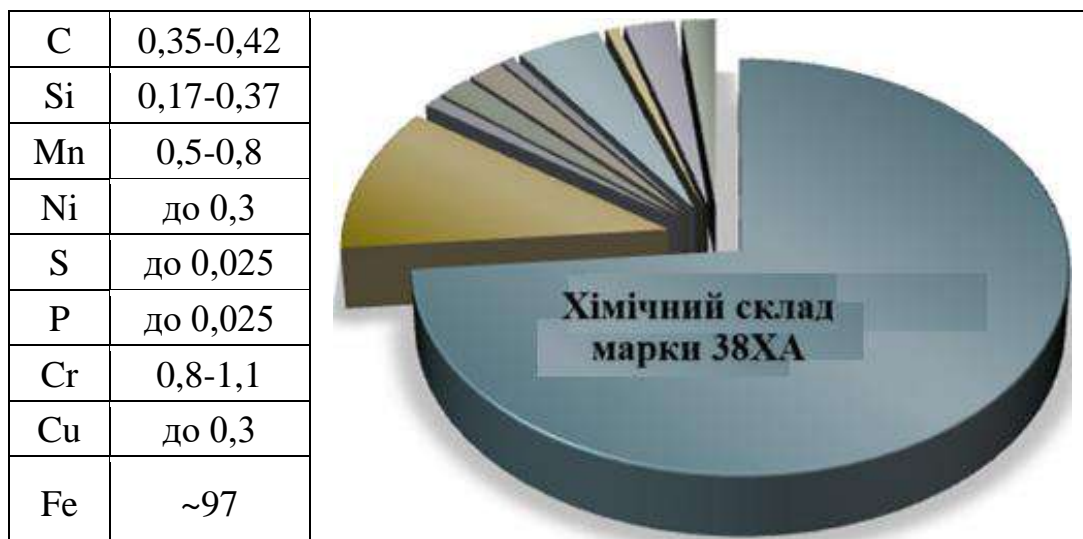


Рисунок 3.1 – Хімічний склад у % сталі 38ХА

Зарубіжні аналоги сталі 38ХА наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Зарубіжні аналоги марки сталі 38ХА

США	5140H, G51350, Gr.5135
Німеччина	1.7034, 37Cr4, 37CrS4, 41Cr4
Японія	SCr3, SCr35H, SCr4, SCr435, SCr440
Франція	37Cr4, 38C4, 38C4FF
Англія	41Cr4, 530A36, 530M40
Китай	35Cr
Швеція	2245
Болгарія	38ChA
Румунія	40Cr10X
Чехія	14140
Австралія	41Cr4SP
Євросоюз	37Cr4
Італія	38Cr4, 41Cr4
Польща	38HA, 40H

3.2 Вплив хімічного складу на структуру та властивості сталі 38ХА

Сталь 38ХА – це сталь, структура якої після гартування та відпустки (сорбіт відпустки) забезпечує високу міцність, твердість та в'язкість. Сг підвищує прогартуваність, а N₂ підвищує поверхневу твердість, роблячи сталь ідеальною для відповідальних деталей, що працюють під навантаженням [17-20].

Основою властивостей 38ХА є поєднання С та легуючих елементів:

С – забезпечує основну міцність та твердість після термічної обробки. Вміст у середньому 0,38% робить сталь конструкційною, середньовуглецевою.

Сг – підвищує прогартуваність (глибину загартованого шару), міцність та зносостійкість. Допомагає сформувати стійку карбідну фазу.

А – сталь 38ХА є азотованою або азот-вмісною. Елементи підвищують зносостійкість, твердість поверхні та стійкість до втоми.

Mn та Si – присутні як компоненти, що підвищують міцність та покращують розкислення.

Шкідливі домішки (S, P) – мінімальний вміст (зазвичай <0,035%) забезпечує високу якість, запобігає крихкості.

Термічна обробка: основна структура – сорбіт відпустки, що забезпечує ідеальний баланс між міцністю та пластичністю.

Загартуваність – завдяки Сг сталь добре загартується на велику глибину, що дозволяє отримувати мартенситну структуру у всьому перерізі деталей.

Поверхневі властивості – азотований шар, сформований завдяки складу, забезпечує високу твердість при збереженні в'язкої серцевини.

3.3 Вплив легування на перетворення сталі 38ХА

Легування сталі 38ХА (Сг та Al) значно підвищує прогартуваність, зміцнює ферит та гальмує дифузійні процеси, що забезпечує стабільність структури при відпуску, підвищує твердість, зносостійкість та покращує механічні властивості після термічної обробки (гартування + високий відпуск).

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні впливи легуючих елементів на сталь 38ХА:

1. Cr підвищує прогартовуваність, збільшує твердість і міцність, уповільнює розпад мартенситу при відпуску, забезпечуючи вищу теплостійкість.

2. Al утворює нітриди, що призводить до зміцнення поверхневого шару, підвищує жаростійкість і сприяє дрібнозернистій структурі.

Легуючі елементи (Cr, Al) зміщують криві ізотермічного перетворення аустеніту вправо, що дозволяє отримувати мартенситну або бейнітну структуру навіть при повільнішому охолодженні (покращує прогартовуваність).

3.3.1 Інтервал температур нагріву при відпалі та гартуванні сталі 38ХА

Сталь 38ХА – це доевтектоїдна легована сталь. Для неї повний відпал проводиться при $t = (840-860) \text{ }^\circ\text{C}$ (лінія $A_{c3} + (30-50) \text{ }^\circ\text{C}$), а гартування – при $t = (830-850) \text{ }^\circ\text{C}$ (лінія $A_{c3} + (30-50) \text{ }^\circ\text{C}$) з охолодженням у маслі для отримання мартенситу.

Основні температурні інтервали нагріву для сталі 38ХА:

1. Повний відпал: нагрів до $A_{c3} + (30-50) \text{ }^\circ\text{C}$. Оскільки для сталі 38ХА температура становить приблизно $t = (800-810) \text{ }^\circ\text{C}$, робочий інтервал становить $t = (840-860) \text{ }^\circ\text{C}$. Нагрів проводиться для переведення структури в аустеніт і подальшого повільного охолодження для зниження твердості.

Гартування: нагрів до $A_{c3} + (30-50) \text{ }^\circ\text{C}$. Для 38ХА це зазвичай $t = (830-850) \text{ }^\circ\text{C}$. Після витримки сталь охолоджують швидко (у маслі), що забезпечує утворення структури мартенситу гартування.

3.4 Термообробка сталі 38ХА, можливі дефекти

3.4.1 Вибір режиму термообробки сталі 38ХА

Основні режими термічної обробки сталі 38ХА:

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– гартування – нагрівання до $t = (850-870) \text{ }^\circ\text{C}$, охолодження у воді або маслі (зазвичай у маслі для уникнення тріщин);

– відпуск (високий) – проводиться після гартування при температурах $t = (550-650) \text{ }^\circ\text{C}$ (часто $t = 600-620 \text{ }^\circ\text{C}$), що забезпечує оптимальний баланс міцності та пластичності (поліпшення);

– відпуск – нагрівання до $t = (550-650) \text{ }^\circ\text{C}$ з наступним повільним охолодженням для зняття напружень та зниження твердості.

Типові механічні властивості після поліпшення:

– твердість (200-300) НВ (залежно від температури відпуску);

– висока ударна в'язкість та межа текучості.

Таким чином, термічна обробка сталі 38ХА включає поліпшення (гартування + високий відпуск) для досягнення високої міцності та в'язкості. Гартування проводять при $t = (600-620) \text{ }^\circ\text{C}$ (вода або масло), відпуск – при $t = (550-650) \text{ }^\circ\text{C}$. Сталь схильна до флокенів та відпускнуї крихкості, тому потребує контрольованого охолодження.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Розробка технологічного процесу відновлення поворотного кулака вантажного автомобіля ЗіЛ-131

4.1 Технічні вимоги на дефектацію поворотного кулака

Під час розробки ТП відновлення поворотного кулака вихідний документ – це карта технічних вимог на дефектацію. Саме цей документ містить основну інформацію, необхідну для оцінювання технічного стану елемента та вибору раціонального способу його ремонту або відновлення.

У карті зазначаються загальні відомості про поворотний кулак, його конструктивні особливості та умови експлуатації. Також у документі наводиться перелік найбільш характерних дефектів, які можуть виникати в процесі роботи, зокрема зношування, тріщини, деформації, пошкодження різьби, корозія та інші несправності.

Окрему увагу приділяють способам виявлення дефектів. Для цього можуть застосовуватися візуальний контроль, вимірювальні інструменти, неруйнівні методи діагностики та спеціальні контрольні прилади. Крім того, у карті вказують номінальні розміри поворотного кулака згідно з робочим кресленням, а також допустимі розміри, за яких деталь ще може використовуватися без проведення ремонту.

Документ також містить рекомендації щодо усунення виявлених дефектів. Залежно від характеру пошкодження можуть застосовуватися механічна обробка, наплавлення, встановлення ремонтних втулок, шліфування, заміна окремих елементів або інші методи відновлення.

Використання карти технічних вимог під час дефектації дозволяє систематизувати процес контролю, забезпечити правильний вибір технології ремонту та підвищити якість відновлення деталей машин і механізмів.

Карта технічних вимог на дефектацію поворотного кулака наведена в табл. 4.1.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Карта технічних вимог на дефектацію поворотного кулака

Можливий дефект	Спосіб встановлення дефекту і засобу контролю	Розмір, мм		Висновок
		По робочому кресленню	Допустимий без ремонту	
Зношування шийки під зовнішній підшипник	Скоба, мікрометр Маhr 40 А МК-25	39,973-39,990	39,95	Хромування, залізнення, накатка
Зношування кільця під сальник	Скоба, мікрометр МК-125 100-125 0,01 ЧИЗ	112,0	111,70 за відсутності рисок і задирів	Залізнення, хромування
Зношування різьби М36х2-6g під гайку	Огляд, різьбовий калібр	36,0	-	Вібродугове наплавлення

4.2 Дефекти поворотного кулака та причини їх виникнення

Дефект №1: Зношування шийки під зовнішній підшипник поворотного кулака.

Причинами виникнення такого дефекту є значні ударні навантаження, які передаються від маточини колеса під час руху автомобіля, особливо при русі нерівними дорогами або під час перевантаження ТЗ. Додатково на поверхню шийки діє постійний тиск, який створюється масою автомобіля та передається через елементи ходової частини.

Важливим фактором зношування також є тертя, яке виникає під дією згинального моменту в процесі роботи вузла. У результаті тривалої експлуатації це призводить до поступового зменшення розмірів посадкової поверхні, появи задирів, нерівномірного виробітку та погіршення умов роботи підшипника.

Несвоєчасне усунення такого дефекту може спричинити порушення посадки підшипника, появу вібрацій, підвищений шум під час руху та прискорене зношування суміжних деталей вузла.

Дефект №2: Зношування кільця під сальник.

Основними причинами виникнення цього дефекту є ударні навантаження, які передаються від маточини колеса під час експлуатації автомобіля, а також підвищене сухе тертя в зоні контакту сальника з робочою поверхнею кільця.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливо інтенсивне зношування спостерігається у випадках недостатнього змащування, потрапляння пилю, бруду або абразивних частинок у вузол.

У процесі тривалої роботи на поверхні кільця можуть утворюватися риски, канавки, задирки та нерівномірний виробіток. Це погіршує герметичність з'єднання та призводить до втрати ефективності роботи сальника.

Наслідком такого дефекту часто стає витік мастильного матеріалу, потрапляння вологи та забруднень у вузол, що, у свою чергу, прискорює зношування підшипників та інших деталей механізму. Для відновлення працездатності вузла пошкоджену поверхню ремонтують або замінюють відповідний елемент новим.

Дефект №3: Зношування різьби М36×2-6g під гайку.

Основними причинами появи цього дефекту є значні осьові ударні навантаження, які передаються від маточини колеса під час руху автомобіля, особливо в умовах нерівного дорожнього покриття та підвищених навантажень. Додатковий негативний вплив чинить агресивне середовище – волога, бруд, пил, дорожні реагенти та корозійно-активні речовини, які сприяють руйнуванню поверхні різьби.

Ще однією поширеною причиною є перевищення допустимої сили затягування гайки під час монтажу. Надмірний момент затягування викликає деформацію витків різьби, їх часткове зминання або зрив, що суттєво погіршує надійність різьбового з'єднання.

У процесі експлуатації це може призвести до ослаблення кріплення, появи люфтів, погіршення фіксації вузла та навіть до аварійних ситуацій. Для усунення дефекту застосовують відновлення різьби ремонтними методами або заміну пошкодженої деталі залежно від ступеня зношування.

4.3 Технічні вимоги до відремонтованого поворотного кулака

Відремонтований поворотний кулак повинен повністю відповідати вимогам чинної нормативно-технічної документації та забезпечувати надійну роботу

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механізму в процесі експлуатації. Після проведення відновлювальних робіт його технічний стан, міцність, точність розмірів та експлуатаційні характеристики мають відповідати встановленим стандартам і технічним умовам.

Ресурс відновленого поворотного кулака повинен становити не $< 80\%$ ресурсу нової деталі. Це є одним із головних критеріїв оцінювання якості ремонту та доцільності подальшого використання відновленого елемента в роботі вузла чи агрегату.

Крім технічних вимог, ремонт має бути економічно обґрунтованим. Вартість відновлення поворотного кулака повинна бути нижчою за витрати на придбання нової, а сам процес ремонту – забезпечувати достатню надійність і тривалий термін служби. Якщо після проведення ремонтних робіт поворотний кулак не відповідає встановленим вимогам щодо точності, міцності або довговічності, то його подальше використання є недоцільним.

У таких випадках більш раціональним рішенням вважається заміна пошкодженого поворотного кулака на новий, що дозволяє забезпечити безпечну та стабільну роботу механізму, знизити ризик повторних несправностей і підвищити загальну надійність ТЗ.

4.4 Вибір раціонального способу відновлення поворотного кулака

Під час розробки ТП відновлення поворотного кулака необхідно дотримуватися певної послідовності виконання ремонтних операцій. Такий підхід забезпечує якісне відновлення деталі, правильне базування під час механічної обробки та підвищує надійність її подальшої експлуатації.

На початковому етапі усувають найбільш серйозні пошкодження, до яких належать обломи, тріщини, відколи та інші дефекти, які порушують цілісність поворотного кулака. Для цього можуть застосовуватися зварювання, наплавлення, встановлення вставок або інші способи відновлення залежно від характеру пошкодження.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після усунення основних дефектів виконують відновлення базових технологічних поверхонь. Саме ці поверхні використовуються для правильного встановлення та закріплення поворотного кулака під час подальших ремонтних і механічних операцій, тому їх точність має особливо важливе значення.

Наступним етапом є нарощування зношених поверхонь. Для цього застосовують наплавлення, металізацію, гальванічні покриття, встановлення ремонтних втулок або інші технологічні методи, які дозволяють компенсувати втрату матеріалу внаслідок зношування.

На завершальному етапі проводять механічну обробку робочих поверхонь до ремонтного або номінального розміру відповідно до технічної документації. Це забезпечує необхідну точність, шорсткість поверхонь та правильне спряження поворотного кулака з іншими елементами вузла.

При відновленні поворотного кулака необхідно для кожного наявного дефекту окремо обрати найбільш доцільний спосіб його усунення. Вибір методу ремонту здійснюють з урахуванням характеру пошкодження, матеріалу деталі, умов її роботи, ступеня зношування та економічної ефективності відновлення.

Після визначення способів усунення всіх дефектів переходять до розроблення ТП ремонту. При цьому обов'язково дотримуються встановленої послідовності виконання операцій: спочатку ліквідовують відколи, тріщини та інші значні пошкодження, потім відновлюють базові поверхні, виконують нарощування зношених ділянок і лише після цього проводять остаточну механічну обробку до необхідних розмірів.

Такий підхід дозволяє забезпечити правильну організацію ремонтних робіт, підвищити якість відновлення поворотного кулака та гарантувати його подальшу надійну експлуатацію в складі вузла чи механізму.

Щоб усунути дефект №1, пов'язаний зі зношуванням шийки під зовнішній підшипник (див. табл. 4.1), можуть застосовуватися різні способи відновлення, зокрема хромування, залізнення та накатування поверхні. Кожен із цих методів має свої особливості, переваги та сферу застосування залежно від ступеня зношування поворотного кулака й умов його подальшої експлуатації.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хромування забезпечує високу твердість і зносостійкість поверхні, однак цей процес є відносно дорогим та потребує складного технологічного обладнання. Метод накатування застосовують переважно при незначному зношуванні, оскільки він дозволяє частково відновити розміри та зміцнити поверхневий шар металу без нанесення додаткового матеріалу.

Найбільш раціональним способом відновлення в даному випадку вважається залізнення. Суть методу полягає в нанесенні шару металу на зношену поверхню з подальшою механічною обробкою до необхідного розміру. Такий спосіб забезпечує достатню міцність, точність і довговічність відновленої поверхні.

Залізнення є особливо ефективним та економічно вигідним при ремонті великих партій однотипних деталей, оскільки дозволяє знизити витрати на відновлення, підвищити продуктивність ремонтних робіт і забезпечити стабільну якість відремонтованих елементів.

Щоб усунути дефект №2, який пов'язаний зі зношуванням кільця під сальник, можуть застосовуватися такі способи відновлення, як залізнення та хромування. Вибір конкретного методу залежить від ступеня пошкодження поверхні, умов експлуатації поворотного кулака та економічної доцільності проведення ремонту.

Хромування дозволяє отримати поверхню з високою твердістю, корозійною стійкістю та підвищеною зносостійкістю. Проте цей спосіб характеризується відносно складною технологією виконання, значною вартістю та потребою у спеціальному обладнанні.

Найбільш раціональним методом відновлення в даному випадку є залізнення. Цей спосіб передбачає нанесення додаткового шару металу на зношену поверхню з подальшою механічною обробкою до необхідних розмірів і шорсткості. Залізнення забезпечує достатню міцність, надійність і довговічність відновленої поверхні, що особливо важливо для деталей, які працюють у складних умовах тертя.

Щоб усунути дефект №3, пов'язаний зі зношуванням різьби, найбільш раціональним способом відновлення вважається вібродугове наплавлення. Даний

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метод дозволяє ефективно відновити пошкоджену поверхню та забезпечити необхідні геометричні параметри різьбового з'єднання.

Суть способу полягає в нанесенні металу на зношену ділянку за допомогою електричної дуги з одночасними вібраційними коливаннями електроду. Завдяки цьому забезпечується рівномірне формування наплавленого шару, зменшується тепловий вплив на поворотний кулак та підвищується якість відновленої поверхні.

Після виконання наплавлення проводять механічну обробку та повторне нарізання різьби до необхідного розміру відповідно до технічних вимог. Такий спосіб дозволяє відновити працездатність поворотного кулака без його заміни.

Вібродугове наплавлення є економічно вигідним методом ремонту, оскільки забезпечує відносно невеликі витрати матеріалів і часу при достатньо високій міцності та довговічності відновленої різьби. Особливо доцільним його застосування є при ремонті великогабаритних і дороговартісних деталей.

Вибір раціонального способу відновлення поворотного кулака наведений у табл. 4.2

Таблиця 4.2 – Вибір раціонального способу відновлення поворотного кулака

№ і найменування дефекту	Прийнятий спосіб відновлення
Дефект №1 – знос шийки під зовнішній підшипник	Залізнення
Дефект №2 – знос кільця під сальник	Залізнення
Дефект №3 – знос різьби М36х2-6g під гайку	Вібродугове наплавлення

Залізнення поворотного кулака виконують у водних розчинах хлористих солей. Хлористе Fe розчиняють у дистильованій H₂O. Потім до неї додають соляну кислоту (12-16 г/л), підігрівають до $t = (82-92) \text{ }^\circ\text{C}$ і пропускають струм густиною $Y = (12-16) \text{ A/дм}^2$ протягом $\tau = (32-42) \text{ год.}$ при відношенні $S_{an}/S_{кат} = 1/2$, де S_{an} – площа анода, $S_{кат}$ – площа катода. При цьому 3-валентне Fe відновлюється до 2-валентного.

					КВРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри вібродугового наплавлення поворотного кулака порошковим дротом Нп-ЗОХГСА на установці для автоматичного наплавлення РМ-9:

- частота обертання поворотного кулака $n_{кул} = 0,8 \text{ хв.}^{-1}$;
- напруга дуги наплавлення $U_d = 28,0 \text{ В}$;
- сила струму наплавлення поворотного кулака $I_{струму} = 220,0 \text{ А}$;
- швидкість подачі електроду для наплавлення $v_{ел} = 0,45 \text{ м/хв.}$
- діаметр дроту для наплавлення $d_{др} = 1,8 \text{ мм}$;
- коефіцієнт наплавлення поворотного кулака $K_{напл} = 7,5 \text{ г/(А * год.)}$
- швидкість наплавлення поворотного кулака $v_{напл} = 10,5 \text{ м/год.}$;
- виліт електроду для наплавлення $l_{ел} = 25 \text{ мм}$;
- коефіцієнт використання електроду для наплавлення $K_{вик.ел} = 0,85$;
- витрата дроту на один кг наплавленого металу $V_{дроту} = 0,8 \text{ кг}$.
- продуктивність наплавлення поворотного кулака $P_{напл} = 7,2 \text{ кг/год.}$
- охолоджувальна рідина для наплавлення – (3-6)%-ний водяний розчин кальцинованої соди.

4.5 Розробка технологічного процесу механічної обробки поворотного кулака після відновлення

4.5.1 Вибір технологічних баз для механічної обробки

Технологічною базою називають поверхню чи їх сукупність заготовки поворотного кулака, які використовуються для визначення її положення в процесі виготовлення або обробки. Саме ці елементи слугують вихідними орієнтирами при встановленні деталі на верстаті або в пристосуванні.

Базування під час механічної обробки – це процес надання заготовці необхідного просторового положення за допомогою відповідного комплекту баз, що дозволяє забезпечити правильне розташування деталі відносно ріжучого інструмента та гарантує отримання заданої точності розмірів і форми.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір технологічних баз має важливе значення для всього ТП. Саме від правильного призначення баз значною мірою залежить маршрут виконання операцій, послідовність обробки поверхонь, а також стабільність і точність виготовлення поворотного кулака. Невдало обрані бази можуть призвести до накопичення похибок і погіршення якості виробу.

Якщо деталь не є тілом обертання, то комплект баз для неї формується з 3-х основних баз: установчої, напрямної та опорної. Така система базування забезпечує надійну фіксацію заготовки у просторі та правильне її положення під час механічної обробки.

Установча база обмежує переміщення деталі, позбавляючи її 3-х ступенів свободи та фіксуючи основне положення в площині або відносно опорної поверхні. Напрямна база додатково обмежує 2 ступені свободи, забезпечуючи правильну орієнтацію заготовки в заданому напрямку. Опорна база завершує систему базування, усуваючи ще один ступінь свободи та остаточно стабілізуючи положення деталі.

У сукупності ці 3 бази дозволяють повністю визначити положення заготовки у просторі, що є необхідною умовою для забезпечення точності обробки, стабільності ТП та отримання деталей із заданими геометричними параметрами.

Щоб базувати деталі, які не належать до тіл обертання застосовують подвійні бази – подвійну напрямну та подвійну опорну. Використання таких баз дозволяє забезпечити більш надійну фіксацію заготовки та підвищити точність її встановлення під час механічної обробки.

Подвійна напрямна база обмежує 4 ступені свободи деталі, забезпечуючи її правильне положення одразу у кількох напрямках. Такий спосіб базування особливо ефективний при обробці довгих або складних за формою деталей, де необхідно виключити можливість перекосу чи зміщення.

Подвійна опорна база, у свою чергу, позбавляє деталь 2-х ступенів свободи у 2-х взаємно перпендикулярних напрямках. Це дозволяє стабілізувати положення заготовки та забезпечити необхідну жорсткість її закріплення під час виконання технологічних операцій.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування подвійних баз сприяє підвищенню точності обробки, зменшенню похибок устанавлення та забезпеченню стабільності ТП.

Графічні позначення баз наносять на операційні ескізи технологічних карт та на складальні креслення обладнання. Такі позначення використовуються для чіткого визначення способу встановлення й закріплення деталі під час виконання технологічних операцій.

На операційних ескізах за допомогою умовних графічних символів показують поверхні або елементи деталі, які приймаються за технологічні бази. Крім цього, можуть позначатися місця розташування опорних елементів, затискних пристроїв та інших складових технологічного оснащення, що забезпечують правильне положення заготовки при обробці.

Нанесення таких позначень на креслення та технологічну документацію дозволяє уніфікувати процес устанавлення деталей, спростити роботу персоналу та зменшити ймовірність помилок під час виконання операцій. Це також сприяє підвищенню точності обробки, забезпеченню повторюваності ТП та стабільній якості виготовлення або ремонту деталей.

Бази поділяють на чорнові, допоміжні та основні. Такий поділ використовується в технології машинобудування для правильного вибору способу встановлення та закріплення деталей під час їх виготовлення або ремонту.

Чорнова база – це необроблена поверхня деталі, отримана після штампування, кування чи лиття. Такі поверхні застосовують переважно на початкових етапах механічної обробки для первинного встановлення заготовки. Від правильного вибору чорнкової бази значною мірою залежить точність подальшої обробки та взаємне розташування поверхонь деталі.

Допоміжна база – це поверхня або елемент, спеціально оброблений лише для забезпечення правильного базування деталі. Як приклад можна навести центрові отвори у валах, які використовуються для точного встановлення заготовки під час токарної чи шліфувальної обробки. Допоміжні бази не завжди є робочими поверхнями деталі, однак вони відіграють важливу роль у забезпеченні точності виготовлення.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основна база – це робоча поверхня деталі, яка безпосередньо впливає на функціонування та взаємодію спряжених деталей у вузлі чи механізмі. Від точності такої бази залежить правильність складання, надійність роботи агрегату та рівномірність розподілу навантажень між елементами конструкції. Саме тому до основних баз висуваються підвищені вимоги щодо точності розмірів, форми та якості обробки поверхні.

Правильний вибір і застосування баз дозволяє підвищити точність механічної обробки, забезпечити стабільність ТП та зменшити ймовірність виникнення похибок під час виготовлення або ремонту деталей.

Для дефектів №1 і №2 використовується чорнова база – вуха під шкворень. Для дефекту №3 використовується технологічна база – центрові отвори поворотного кулака.

4.5.2 Технологічна схема усунення дефектів поворотного кулака

Технологічна схема усунення дефектів поворотного кулака наведена у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Технологічна схема усунення дефектів поворотного кулака

Дефект	Спосіб усунення дефектів	Найменування і зміст операції	Технологічна база	Шерша-вість Ra, мкм
Знос шийки під зовнішній підшипник	Залізнення	Шліфування. Залізнення. Шліфування. Миття.	Центрові отвори. Чорнова база.	0,40 _{-0,05}
Знос кільця під сальник	Залізнення	Шліфування. Залізнення. Шліфування. Миття.	Центрові отвори. Чорнова база. Центрові отвори.	0,40 _{-0,05}
Знос різьби М36х2-6g під гайку	Вібродуго-ве наплав-лення	Токарна. Наплавлення. Токарна. Миття.	Центрові отвори.	0,40 _{-0,05}

4.5.3 Вибір устаткування для усунення дефектів та відновлення поворотного кулака

Для виявлення дефектів використовують діагностичне та контрольнo-вимірювальне обладнання. Насамперед, застосовують мікрометри, нутроміри, індикаторні головки та штангенциркулі. Вони дозволяють визначити ступінь зношування посадочних поверхонь, відхилення геометричних розмірів та наявність овальності. Для перевірки тріщин у металі використовують дефектоскопи або магнітопорошковий контроль. Таке обладнання дає змогу виявити приховані пошкодження, які неможливо побачити візуально.

Після проведення дефектації виконується очищення поворотного кулака від бруду, мастила та корозії. Для цього використовують мийні установки високого тиску, ванни для промивання деталей та піскоструминне обладнання. Піскоструминна обробка забезпечує якісне очищення металевої поверхні та підготовку її до подальшого ремонту або наплавлення.

Для усунення тріщин і механічних пошкоджень застосовують вібродугове наплавлення, яке забезпечує високу якість шва, менше теплове деформування деталі та кращу продуктивність. Після наплавлення поворотний кулак піддають механічній обробці (виконують токарну або шліфувальну обробку) для відновлення необхідних розмірів.

Основним обладнанням для механічної обробки поворотного кулака є токарні, свердлильні, розточувальні та шліфувальні верстати. На токарних верстатах здійснюють обробку посадочних місць і відновлення правильних розмірів поверхонь. Розточувальні верстати використовують для відновлення внутрішніх отворів та усунення овальності. Шліфувальні верстати забезпечують високу точність і чистоту поверхні після механічної обробки.

Для відновлення зношених різьбових отворів застосовують різьбонарізне обладнання, а також спеціальні ремонтні вставки. Використання таких вставок дозволяє відновити міцність різьби без необхідності заміни всього поворотного кулака.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення ремонтних робіт проводять контроль якості відновленого поворотного кулака. Для цього використовують контрольно-вимірювальні прилади та стенди перевірки геометрії. Особливу увагу приділяють співвісності отворів, точності посадочних розмірів і відсутності тріщин після ремонту.

Правильний вибір обладнання для усунення дефектів та відновлення поворотного кулака має важливе значення для забезпечення надійності та безпечної експлуатації автомобіля. Використання сучасного діагностичного, зварювального та механічного обладнання дозволяє значно продовжити ресурс деталі, зменшити витрати на ремонт та підвищити ефективність ТО автомобіля.

Вибір устаткування для усунення дефектів поворотного кулака наведений у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Вибір устаткування для усунення дефектів поворотного кулака [21-22]

Найменування операції	Використовуване устаткування	Інструмент
Наплавлення	Джерело живлення електричної дуги – генератор АНД-500/250, випрямляч ВС-300, перетворювач ПД-305, індуктивний опор – дросель РСТЕ-34.	Дріт Нп-ЗОХГСА. Охолоджувальна рідина – (3-6)%-ний водяний розчин кальцинованої соди.
Шліфування	Верстат для шліфування CG 500.	Шліфувальне коло 25A/WA
Залізнення	Ванна Bette.	Електроліт Арт.FE001.
Токарна	Токарно-гвинторізний верстат 1K62. Верстак Target Group. Лещата Prom.	Штангенциркуль ADA. Набір різців Holzstar.

4.5.4 Розрахунок норм часу для усунення дефектів та відновлення поворотного кулака

При технічному нормуванні визначається час (хв.) [23-28]:

- оперативний $T_{оп.}$;
- додатковий (на операцію) $T_{д.}$;
- штучний $T_{шт.}$;
- підготовчо-завершальний $T_{п.з.}$;
- штучно-калькуляційний $T_{шт.к.}$

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оперативний час $T_{оп.}$, хв.:

$$T_{оп.} = T_o. + T_{д.}, \quad (4.1)$$

де $T_o.$ – основний час, хв.;

$T_{д.}$ – додатковий час, хв.

Для наплавлювальних робіт:

$$T_o. = \pi * D_{пов} * L_{пов} / 1000 * v_{напл} * S \quad (4.2)$$

де $D_{пов}$ – діаметр поверхні, що наплавляється, мм;

$L_{пов}$ – довжина поверхні, що наплавляється, мм;

$v_{напл}$ – швидкість наплавлення, м/хв.

S – подача, мм/об.

Тоді:

$$T_o. = 3,14 * 63,4 * 50 / 1000 * 2,3 * 3,2 = 5,77 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на операцію:

$$T_{д.} = T_{д.у.} + T_{д.п.} + T_{д.з.}, \quad (4.3)$$

де $T_{д.у.} = 5,0$ хв. – допоміжний час на установку-зняття поворотного кулака;

$T_{д.п.} = 15,0$ хв. – допоміжний час на перехід;

$T_{д.з.} = 5,0$ хв. – допоміжний час на виміри деталі [23-28].

Тоді:

$$T_{д.} = 5,0 + 15,0 + 5,0 = 25,0 \text{ хв.}$$

Тоді:

$$T_{оп.} = 5,0 + 25,0 = 30,0 \text{ хв.}$$

Додатковий час $T_{дод.}$, хв.:

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{дод.}} = T_{\text{оп.}} * (b_{\text{о.т.о.}} + b_{\text{о.т.о.}}) / 100 \quad (4.4)$$

де $b_{\text{о.т.о.}} = 6,0 \%$ – відсоток від оперативного часу на організаційно-технічне обслуговування робочого місяця;

$b_{\text{о.т.о.}} = 7,0 \%$ – відсоток від оперативного часу на відпочинок та особисті потреби відповідно.

Тоді:

$$T_{\text{дод.}} = 30,0 * (1,8 + 2,1)/100 = 1,17 \text{ хв.}$$

Штучний час:

$$T_{\text{шт.}} = T_{\text{о.}} + T_{\text{д.}} + T_{\text{дод.}} = T_{\text{оп.}} + T_{\text{дод.}} \quad (4.5)$$

Тоді:

$$T_{\text{шт.}} = 30,0 + 1,17 = 31,17 \text{ хв.}$$

У підготовчо-завершальний час входить час на:

- підготовку верстата до роботи;
- інструктаж;
- завершення роботи.

$T_{\text{п.з.}} = 20,0$ хв. визначається по таблицях нормативів на кожну операцію залежно від організації робочого місяця, складності оброблюваної деталі, конструкції устаткування і пристосувань [23-28].

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт.к.}} = T_{\text{шт.}} + T_{\text{п.з.}} / a \quad (4.6)$$

де $a = 20,0$ шт. – розмір партії поворотних кулаків.

Тоді:

$$T_{\text{шт.к.}} = 31,17 + 20/20 = 32,17 \text{ хв.}$$

Для шліфування шийки під зовнішній підшипник.

					КВРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_o = e * k_{зач.} / S_{поп.} \quad (4.7)$$

де $e = 2$ мм – припуск на обробку на сторону [23-28];

$k_{зач.} = 1,8$ – коефіцієнт зачистних ходів;

$S_{поп.} = 1,6$ – поперечна хвилинна подача шліфувального круга, мм/хв.

Тоді:

$$T_o = 2 * 1,8 / 1,6 = 2,25 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на операцію (формула 4.3):

$$T_{доп.} = 5,0 + 10,0 + 5,0 = 20,0 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{оп.}$ (формула 4.1):

$$T_{оп.} = 2,25 + 20,0 = 22,25 \text{ хв.}$$

Додатковий час (формула 4.4):

$$T_{дод.} = T_{оп.} * (b_{о.т.о.} + b_{о.т.о.}) / 100$$

де $b_{о.т.о.} = 7,0$ % – відсоток від оперативного часу на організаційно-технічне обслуговування робочого місця;

$b_{о.т.о.} = 8,0$ % – відсоток від оперативного часу на відпочинок та особисті потреби відповідно [23-28].

Тоді:

$$T_{дод.} = 22,25 * (1,56 + 1,78) / 100 = 0,74 \text{ хв.}$$

Штучний час (формула 4.5):

$$T_{шт.} = T_{оп.} + T_{дод.}$$

Тоді:

$$T_{шт.} = 22,25 + 0,74 = 22,99 \text{ хв.}$$

					КВРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Штучно-калькуляційний час (формула 4.6):

$$T_{\text{шт.к.}} = T_{\text{шт.}} + T_{\text{п.з.}} / a$$

Тоді:

$$T_{\text{шт.к.}} = 22,99 + 20/20 = 23,99 \text{ хв.}$$

Для залізнення.

Визначення T_o :

$$T_o = (1000 * 60 * e * \gamma) / D_{\text{катод}} * v * k \quad (4.8)$$

де $e = 1,50$ – товщина покриття, мм;

$\gamma = 7,80$ – щільність осадженого металу, г/см³;

$D_{\text{катод}} = 100$ –катодна щільність струму, А/дм²;

$v = 0,32$ – електрохімічний еквівалент г/А*год.;

$k = 20,0\%$ – коефіцієнт виходу металу по струму, %

Тоді:

$$T_o = (1000 * 60 * 1,50 * 7,80) / 100 * 0,32 * 20,0 = 1025 \text{ хв.}$$

Визначаємо T_v (формула 4.3) [23-28]:

$$T_d = 5,0 + 10,0 + 5,0 = 20 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{\text{оп.}}$ (формула 4.1):

$$T_{\text{оп.}} = 1025 + 20 = 1045 \text{ хв.}$$

Визначаємо T_d (формула 4.4) [23-28]:

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{дод.}} = 1045 * (10,70 + 12,8) / 100 = 246 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{\text{шт.}}$ (формула 4.5):

$$T_{\text{шт.}} = 1045 + 246 = 1291 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{\text{шт.к.}}$ (формула 4.6):

$$T_{\text{шт.к.}} = 1291 + 15,0/100 = 1291,15 \text{ хв.}$$

Для токарних робіт.

Визначення T_o :

$$T_o = L_{r.x} * k_{\text{пр}} / S * n \quad (4.9)$$

де $k_{\text{пр}}$ – кількість проходів.

Тоді:

$$T_o = 50,0 * 2 / 10,0 * 1,0 = 10,0 \text{ хв.}$$

Визначаємо T_d (формула 4.3):

$$T_v = 5,0 + 10,0 + 5,0 = 20 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{\text{оп.}}$ (формула 4.1) [23-28]:

$$T_{\text{оп.}} = 10,0 + 20,0 = 30 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{\text{дод.}}$ (формула 4.4) [23-28]:

$$T_{\text{дод.}} = 30 * (3,5 + 2,8) / 100 = 1,89 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{\text{шт.}}$ (формула 4.5):

					КВРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{шт.} = 30 + 1,89 = 31,89 \text{ хв.}$$

Визначаємо $T_{шт.к.}$ (формула 4.6):

$$T_{шт.к.} = 31,89 + 10/1 = 41,89 \text{ хв.}$$

Для шліфування кільця під сальник.

Визначення T_o :

$$T_o = k_{пр} * K_{з.х.} / S_{под.} \quad (4.10)$$

де $k_{пр} = 2,0$ – припуск на обробку на сторону, мм;

$K_{з.х.} = 1,50$ – коефіцієнт зачисних ходів;

$S_{под.} = 1,50$ – поперечна подача шліфувального круга, мм/хв. [23-28].

Тоді:

$$T_o = 2 * 1,50 / 1,50 = 2 \text{ хв.}$$

Визначення T_d (формула 4.3) [23-28]:

$$T_d = 10,0 + 5,0 + 5,0 = 20,0 \text{ хв.}$$

Визначення $T_{оп.}$ (формула 4.1):

$$T_{оп.} = 2,0 + 20,0 = 22,0 \text{ хв.}$$

Визначення T_d (формула 4.4) [23-28]:

$$T_{дод.} = 22 (1,54 + 1,10) / 100 = 0,58 \text{ хв.}$$

Визначення $T_{шт.}$ (формула 4.5):

$$T_{шт.} = 22,0 + 0,58 = 22,58 \text{ хв.}$$

					КВРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення $T_{шт.к.}$ (формула 4.6):

$$T_{шт.к.} = 22,58 + 10/1 = 32,58 \text{ хв.}$$

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 Розробка та дослідження працездатності універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION

5.1 Системи інженерних розрахунків та аналізу CAD/CAD/CAE

CAD/CAE-системи – це сучасні програмні комплекси, призначені для автоматизації інженерного проєктування, виконання складних технічних розрахунків і проведення КА різноманітних конструкцій та процесів. Використання таких систем дає можливість значно скоротити час розроблення виробів, підвищити точність інженерних розрахунків і оптимізувати процес створення нової техніки.

МСЕ насамперед широко застосовується для ефективного розв'язання задач механіки твердого деформованого тіла, а також під час дослідження процесів статички, динаміки, коливань, стійкості та міцності різноманітних технічних об'єктів. Завдяки високій точності та універсальності цей метод став одним із основних інструментів сучасного інженерного аналізу.

Особливу цінність МСЕ має під час аналізу складних конструкцій із нерівномірною геометрією та неоднорідними матеріалами, де застосування традиційних аналітичних методів є утрудненим або взагалі неможливим. Використання КМ дає можливість ще на стадії проєктування оцінити працездатність конструкції, виявити потенційно небезпечні зони концентрації напружень і своєчасно внести необхідні зміни до конструкції виробу.

МСЕ активно використовується практично в усіх галузях промисловості – машинобудуванні, авіаційній та автомобільній промисловості, енергетиці, будівництві, приладобудуванні та інших сферах виробництва. Це дозволяє підвищити надійність продукції, скоротити витрати на виготовлення та випробування, а також значно прискорити процес створення нових виробів і технічних систем.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Протягом тривалого часу багато підприємств ставилися до CAD/CAE-систем досить скептично, вважаючи традиційні інженерні методики розрахунку більш надійними та точними. Однак із розвитком ПЗ та накопиченням практичного досвіду ситуація суттєво змінилася. Сьогодні дедалі більше успішних інженерних і виробничих проєктів реалізуються саме завдяки використанню CAD/CAE-технологій.

Поступово фахівці виробничої сфери набули значного досвіду роботи з КМ, а сучасні програмні продукти стали більш функціональними, точними та зручними у використанні. Інтерфейси програм спростилися, з'явилися автоматизовані інструменти аналізу та проєктування, що зробило CAD/CAE-системи доступнішими для широкого кола інженерів і конструкторів.

У результаті використання CAD/CAE-технологій підприємства отримали можливість підвищувати конкурентоспроможність продукції, скорочувати витрати на випробування, прискорювати впровадження нових розробок у виробництво та забезпечувати вищий рівень надійності та якості технічних виробів.

Надзвичайно важливим фактором розвитку сучасних CAD/CAE-технологій стало також постійне вдосконалення аналітичного ПЗ, яке супроводжується зменшенням вартості та підвищенням доступності високопродуктивної комп'ютерної техніки. Це має особливе значення, оскільки виконання складних інженерних розрахунків потребує значних обчислювальних ресурсів і високої швидкодії систем.

Сьогодні ситуація суттєво змінилася. Завдяки стрімкому розвитку комп'ютерних технологій більшість інженерних розрахунків можуть ефективно виконуватися навіть на звичайних настільних персональних комп'ютерах. Сучасні процесори, графічні прискорювачі та великі обсяги оперативної пам'яті забезпечують високу швидкість обробки даних і дозволяють проводити складні розрахунки без використання дорогого спеціалізованого обладнання.

Крім того, значно скоротився час виконання інженерного аналізу. Якщо раніше проведення складних розрахунків або моделювання займало декілька днів

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чи навіть тижнів, то нині аналогічні задачі часто вирішуються лише за кілька годин. Це дозволяє значно прискорити процес проектування, оперативно вносити зміни до конструкцій і швидше впроваджувати нові технічні рішення у виробництво.

Серед найбільш відомих і поширених програмних продуктів у сфері CAD/CAE-технологій одне з провідних місць займає SOLIDWORKS та його спеціалізований модуль SOLIDWORKS SIMULATION. Ці програмні комплекси широко використовуються у машинобудуванні, приладобудуванні, автомобільній та авіаційній промисловості, а також у навчальному процесі технічних закладів освіти [29].

SOLIDWORKS дає змогу створювати 3-вимірні моделі деталей і складальних одиниць, виконувати конструкторську документацію та здійснювати параметричне проектування. У свою чергу, SOLIDWORKS SIMULATION забезпечує проведення інженерного аналізу, зокрема розрахунків на міцність, жорсткість, стійкість, втому матеріалу, теплові та динамічні процеси.

5.2 Основні принципи SOLIDWORKS SIMULATION

SOLIDWORKS SIMULATION – це сучасна система інженерного аналізу конструкцій, яка повністю інтегрована із середовищем SOLIDWORKS. Завдяки такій інтеграції користувач має можливість виконувати проектування та інженерні розрахунки безпосередньо в єдиному програмному середовищі, що значно спрощує процес розроблення виробів і підвищує ефективність роботи конструктора.

Однією з важливих переваг системи є наявність високопродуктивних обчислювальних модулів, які дозволяють оперативно виконувати складні розрахунки навіть для великогабаритних моделей і конструкцій. Використання сучасних алгоритмів та МСЕ забезпечує високу точність результатів при роботі на звичайних ПК без потреби у дорогих спеціалізованих обчислювальних комплексах.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.1 Основні поняття МСЕ

МСЕ є сучасним чисельним методом аналізу технічних конструкцій і широко застосовується для розв'язання складних інженерних задач у різних галузях промисловості. Завдяки своїй універсальності, високій точності та можливості реалізації на персональних комп'ютерах МСЕ став одним із основних стандартних методів інженерного аналізу.

Скінченні елементи, на які поділяється модель під час розрахунку, з'єднуються між собою у спеціальних точках, які називають вузлами. Саме через вузли забезпечується взаємодія між окремими елементами та передача навантажень, переміщень і деформацій у межах усієї конструкції.

Процес поділу геометричної моделі на велику кількість невеликих елементів називається побудовою або генерацією сітки. Якість створеної сітки має надзвичайно важливе значення, оскільки від неї залежить точність результатів розрахунку та ефективність виконання інженерного аналізу. Чим складніша геометрія моделі та умови навантаження, тим ретельніше необхідно формувати сіткову структуру (рис. 5.1).

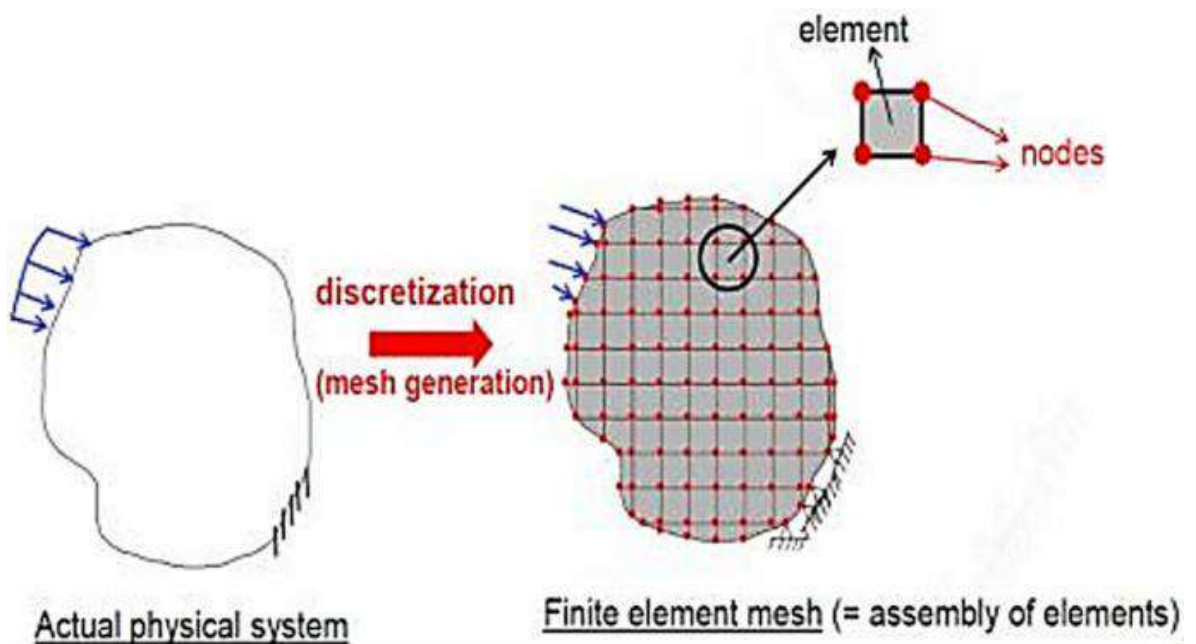


Рисунок 5.1 – Формування сіткової структури

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У МСЕ використовуються елементи різної форми та типу. Найпоширенішими є трикутні, чотирикутні, тетраедральні та гексаедральні елементи. Вибір форми елемента залежить від геометрії моделі, типу задачі та необхідної точності розрахунків. Використання різних типів елементів дозволяє ефективно аналізувати як прості, так і дуже складні конструкції в машинобудуванні, будівництві, авіаційній техніці та інших галузях промисловості.

ПЗ, яке використовує МСЕ, формує математичні рівняння, які описують поведінку кожного окремого елемента моделі з урахуванням його взаємодії та зв'язку з іншими елементами конструкції. Такі рівняння дозволяють відтворити реальні фізико-механічні процеси, які виникають у деталі або вузлі під дією зовнішніх навантажень.

У процесі розрахунку враховуються властивості матеріалу, геометричні характеристики конструкції, умови закріплення, прикладені сили, температурні впливи та інші експлуатаційні фактори. На основі цих даних для кожного елемента створюється система математичних залежностей, яка визначає його реакцію на навантаження.

Після формування локальних рівнянь програма об'єднує їх у єдину велику систему взаємопов'язаних алгебраїчних рівнянь, яка описує поведінку всієї конструкції в цілому. Далі за допомогою спеціальних обчислювальних алгоритмів виконується пошук невідомих параметрів, зокрема переміщень вузлів моделі.

Наприклад, під час аналізу міцності розрахункова програма спочатку визначає величини переміщень у кожному вузлі сітки. На основі отриманих переміщень автоматично обчислюються деформації елементів, а потім визначаються внутрішні напруження в матеріалі конструкції. Це дозволяє оцінити міцність виробу, виявити найбільш навантажені ділянки та спрогнозувати можливість виникнення руйнувань або надмірних деформацій.

Завдяки такому підходу сучасні CAD/CAE-системи забезпечують високу точність інженерних розрахунків і дозволяють значно скоротити час проєктування та випробування технічних виробів.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.2 Переваги аналізу

Після створення комп'ютерної моделі необхідно переконатися у її працездатності та надійності шляхом проведення експлуатаційних випробувань і перевірок. Це дає можливість оцінити поведінку конструкції в реальних умовах роботи, визначити її міцність, стійкість і відповідність технічним вимогам.

За відсутності сучасних засобів КА та інженерного моделювання вирішення подібних задач здійснюється переважно за допомогою тривалого й дорогого циклу розроблення виробу. Такий процес потребує значних матеріальних витрат, великої кількості випробувань і значного часу на доопрацювання конструкції.

Традиційний цикл створення виробу зазвичай включає кілька основних етапів:

- розроблення конструкції, створення моделі та виготовлення дослідного зразка;
- проведення експлуатаційних або стендових випробувань дослідного виробу;
- аналіз та оцінювання результатів отриманих випробувань;
- внесення змін до конструкції відповідно до виявлених недоліків та повторне проведення випробувань.

У багатьох випадках зазначений процес повторюється декілька разів до моменту отримання конструкції, яка повністю відповідає заданим технічним характеристикам і вимогам надійності. Саме тому використання сучасних CAD/CAE-систем та МСЕ має надзвичайно важливе значення для сучасного машинобудування та інженерії.

Застосування КМ дозволяє значну частину випробувань перенести у віртуальне середовище, що дає можливість ще на стадії проєктування виявити слабкі місця конструкції, оптимізувати її параметри та зменшити кількість дорогих натурних експериментів. У результаті скорочуються терміни розробки

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нових виробів, знижуються витрати на виготовлення дослідних зразків і підвищується якість готової продукції.

Однією з основних переваг КА є можливість суттєвого зниження вартості розроблення виробів. Це досягається завдяки проведенню значної частини випробувань безпосередньо на ПК замість виконання великої кількості дорогих експлуатаційних або стендових тестів. Віртуальне моделювання дозволяє дослідити поведінку конструкції в різних умовах роботи ще до виготовлення фізичного зразка (рис. 5.3).

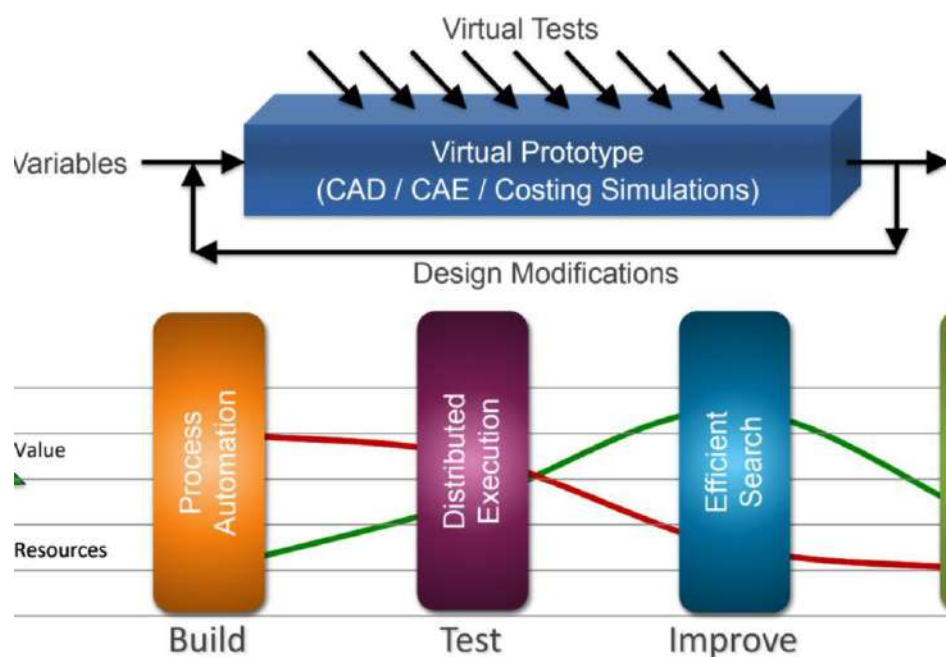


Рисунок 5.2 – Віртуальне моделювання конструкції

За допомогою сучасного інженерного аналізу та КМ можна вирішувати широкий спектр важливих технічних і виробничих завдань. Використання CAD/CAE-систем та МСЕ дозволяє значно підвищити ефективність процесу проектування, скоротити витрати та покращити якість готової продукції.

Крім того, застосування інженерного аналізу дає можливість значно скоротити терміни виведення нових виробів на ринок. Це пояснюється тим, що зменшується кількість циклів розробки, виготовлення та доопрацювання дослідних зразків. Завдяки швидкому отриманню результатів розрахунків

										Арк.
										53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

інженери можуть оперативно вносити зміни до конструкції та одразу перевіряти їх ефективність.

Ще однією важливою перевагою є можливість удосконалення виробів шляхом аналізу великої кількості варіантів конструкцій і різних сценаріїв навантаження. КМ дозволяє швидко оцінити декілька технічних рішень, порівняти їх характеристики та обрати найбільш оптимальний варіант ще до початку виробництва.

Такий підхід забезпечує інженерам додатковий час для пошуку нових конструктивних рішень, оптимізації параметрів виробу та підвищення його надійності, довговічності й конкурентоспроможності. У результаті сучасні CAD/CAE-технології стають невід'ємною складовою процесу створення якісної та ефективної технічної продукції.

5.3 Конструювання універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів

У багатьох машинах, механізмах і технічних установках робота окремих вузлів ґрунтується на постійному русі деталей та передачі обертового моменту. Для забезпечення плавного обертання, зменшення тертя та підвищення довговічності рухомих елементів у конструкціях широко застосовуються підшипники різних типів. Саме вони забезпечують надійну роботу валів, шестерень, маточин та інших механізмів, які працюють під значними навантаженнями.

Під час експлуатації підшипникові вузли потребують регулярного ТО, контролю стану та періодичної заміни. У багатьох випадках кріплення можуть бути затягнуті з відносно невеликими силами, що дозволяє легко виконувати демонтаж. Проте на практиці нерідко виникають ситуації, коли підшипник тривалий час не знімався, зазнав корозії, окислення або сильно прикипів до посадочного місця.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У таких випадках демонтаж підшипника значно ускладнюється. Іноді для його зняття використовують підручні засоби, зокрема, молоток і зубило. Однак застосування подібних методів може призвести до пошкодження елементів підшипника, деформації валів, посадочних поверхонь або інших деталей механізму. Крім того, виконання робіт ударним способом підвищує ризик отримання травм механіком або обслуговуючим персоналом.

Саме тому для безпечного та якісного демонтажу підшипників рекомендується використовувати спеціальні знімачі та професійний інструмент. Це дозволяє зменшити механічні пошкодження деталей, забезпечити точність виконання ремонтних робіт і підвищити безпеку праці під час ТО передньої підвіски автомобілів [30].

Підшипник є досить складною, точною та відносно дорогою деталлю, тому під час його демонтажу необхідно дотримуватися максимальної обережності, щоб уникнути появи пошкоджень, сколів, тріщин або деформацій робочих поверхонь. Неправильне зняття підшипника може призвести не лише до виходу з ладу самого елемента, а й до пошкодження валів, посадочних місць чи інших деталей механізму.

Саме тому для демонтажу підшипників доцільно використовувати спеціальні знімачі, які забезпечують рівномірне прикладання сили та дозволяють безпечно виконати ремонтні роботи. Використання професійного інструменту значно знижує ризик механічних пошкоджень і підвищує якість ТО.

Іноді підшипник намагаються демонтувати шляхом вибивання внутрішньої обойми. Однак для такого способу необхідно мати спеціальну втулку, яка точно відповідає розмірам внутрішньої частини підшипника. Навіть за наявності відповідного інструмента подібний метод не завжди є безпечним та ефективним.

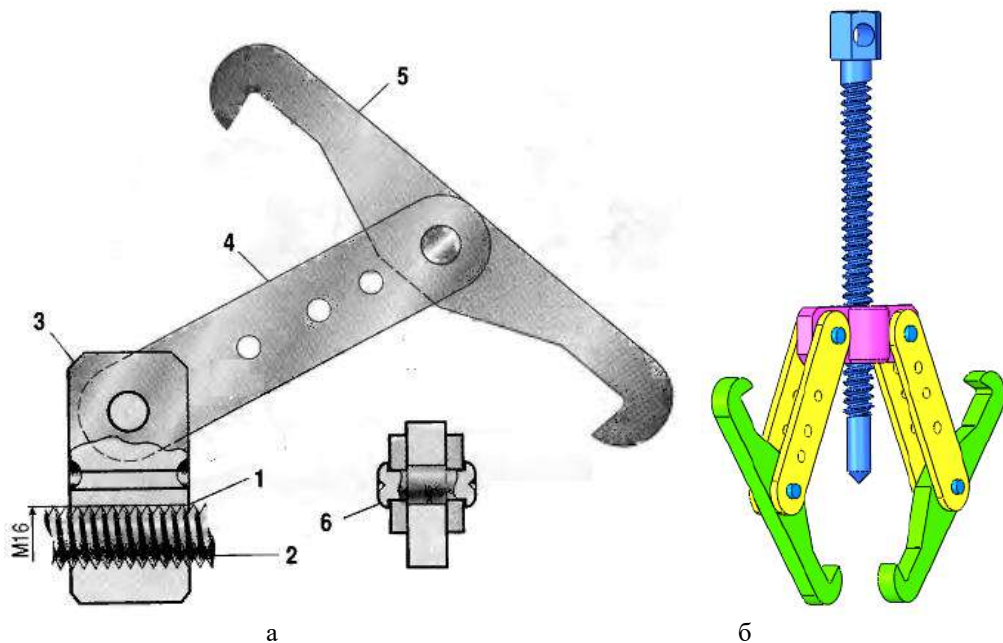
Особливо складною є ситуація, коли підшипник прикипів або зазнав корозії внаслідок тривалої експлуатації. У такому випадку демонтаж ударним способом стає практично неможливим і технічно неправильним, оскільки може спричинити значні пошкодження деталей вузла.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на це, будь-який сучасний автосервіс або ремонтна майстерня, яка займається обслуговуванням ходової частини автомобілів, повинні бути оснащені комплектом спеціальних знімачів для підшипників. Наявність такого інструменту забезпечує безпечне виконання ремонтних робіт, скорочує час обслуговування та дозволяє підтримувати високий рівень якості ремонту АТ [30].

Розглянемо конструкцію універсального знімача, зображеного на рис. 5.3. Даний інструмент призначений для демонтажу підшипників, шківів, втулок та інших деталей, які встановлені з натягом на валу або в посадочному місці. Завдяки своїй універсальності знімач широко застосовується в автосервісах, ремонтних майстернях та на підприємствах ТО.

Основним робочим елементом пристрою є захват 5, який виконаний із двома лапками. Така конструкція забезпечує надійне захоплення деталі та рівномірний розподіл сили під час демонтажу. Оскільки обидва кінці захвата мають однакову форму та розміри, 2-й кінець може використовуватися як резервний у разі зношування або пошкодження першого.



1 – гайка; 2 – гвинт; 3 – пластина; 4 – серга; 5 – захват; 6 – вісь

Рисунок 5.3 – Складальне креслення універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів із захватами на сергах (а) і його 3D-модель (б)

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Для подальшого використання запасного кінця достатньо переставити гвинт у гайку 1 з протилежного боку конструкції. Це підвищує довговічність інструмента, спрощує його експлуатацію та дозволяє продовжити термін служби знімача без необхідності заміни окремих деталей.

Подібна конструкція є досить практичною, оскільки забезпечує зручність роботи механіка, підвищує надійність демонтажу та дозволяє ефективно виконувати ремонтні операції навіть у складних умовах експлуатації.

Задачею дослідження ставилось визначення максимальної сили, яку можна прикласти до захвата 5 (рис. 5.3) при допустимому коефіцієнті запасу міцності $[n_T] = 3$. Для цього використали SOLIDWORKS, яка є системою гібридного (твердотільного й поверхневого) параметричного моделювання. Вона призначена для проектування деталей і складань у тривимірному просторі (3D-проектуювання), а також для оформлення конструкторської документації [29, 30].

Для проведення інженерних розрахунків використали SOLIDWORKS SIMULATION – це програмне рішення, повністю інтегроване в робоче середовище SOLIDWORKS 3D [31].

Отже, в SOLIDWORKS:

– створили 3D-модель захвата знімача підшипників (рис. 5.4, б);

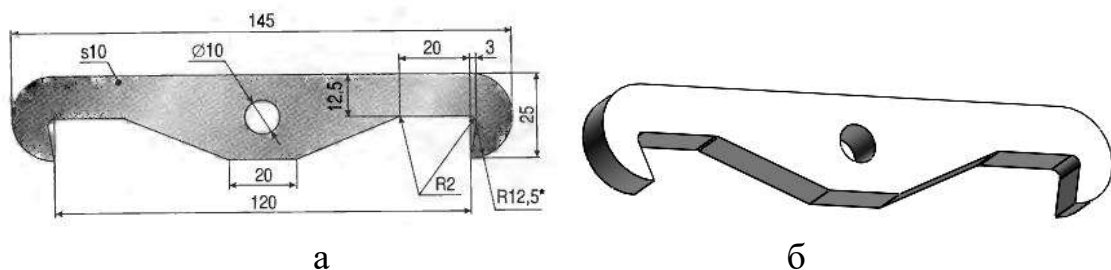
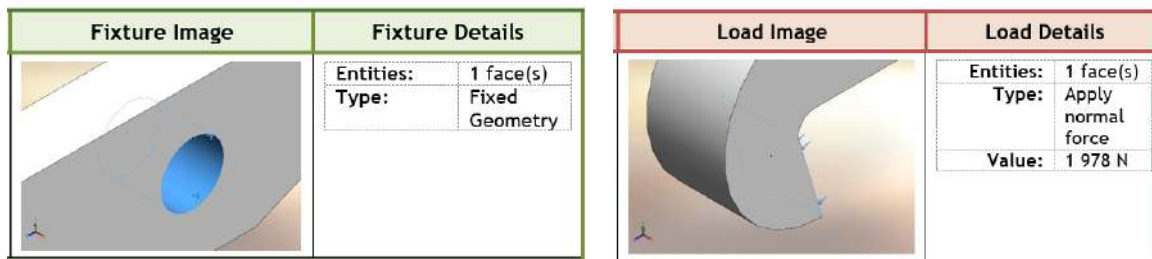


Рисунок 5.4 – Креслення (а) і 3D-модель захвата (б) знімача підшипників

– в SOLIDWORKS SIMULATION призначили його матеріал (сталь 45);

– провели закріплення захвата і задали область його навантаження (рис. 5.5).

						КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
							57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



а

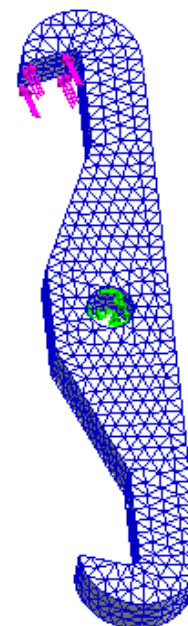
б

Рисунок 5.5. – Закріплення захвата (а) та задання області його навантаження (б)

Наступні кроки – система визначила контактні взаємодії та створила скінченно-елементну модель захвата (рис. 5.6).

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points for High quality mesh	4 Points
Element Size	2,92299 mm
Tolerance	0,146149 mm
Mesh Quality	High
Total Nodes	12111
Total Elements	7441
Maximum Aspect Ratio	4,6589
% of elements with Aspect Ratio < 3	99,6
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
Percentage of distorted elements	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:05

а



б

Рисунок 5.6 – Параметри сітки (а) та її відображення на захваті (б)

Враховуючи з'єднання між елементами, програмне забезпечення SOLIDWORKS SIMULATION створило алгебраїчні рівняння. Вони пов'язують реакцію з властивістю матеріалу, обмеженнями і навантаженнями. Після упорядкування рівнянь у загальну систему знаходились невідомі (рис. 5.7).

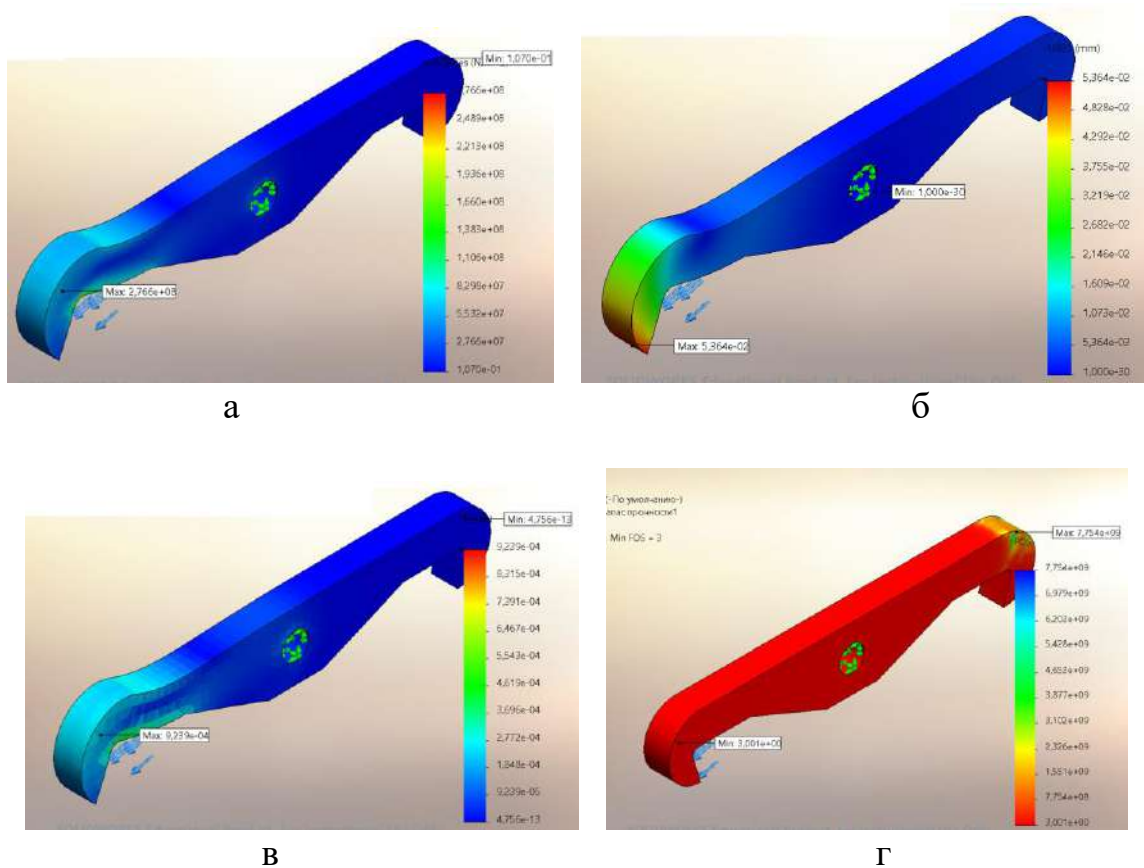


Рисунок 5.7 – Епюри сумарних напружень von Mises (а), переміщень URES (б), еквівалентних деформацій ESTRN (в), запасу міцності FOS захвата (г) універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів

Отже, для розглянутого захвата універсального знімача підшипників максимальна сила, яке не призведе до порушень техніки безпеки (при мінімальному допустимому запасі міцності $[n_T] = 3$, становитиме 1978 Н (на 1 захват).

Отримані результати підтверджують актуальність проведеного дослідження при визначенні максимальної сили, яку може витримати захват при $[n_T] = 3$.

Висновки

Серед вантажних армійських автомобілів, які й надалі експлуатуються у складі ЗСУ, значне місце посідають вантажні автомобілі марки ЗІЛ. Попри тривалий період експлуатації та моральне старіння окремих конструктивних рішень, ці транспортні засоби й досі відіграють важливу роль у забезпеченні функціонування військової логістики та виконанні різноманітних завдань. Тому наведена характеристика вантажного тривісного автомобіля підвищеної прохідності ЗіЛ-131.

Поворотний кулак – це ключовий елемент передньої підвіски автомобіля: він повертає колеса: від керма через кермову систему на поворотний механізм передається сила, й тоді кулак розвертає колеса під потрібним кутом. Тому представлені загальні відомості про поворотний кулак, його функції, основні несправності, відновлення та ремонт.

Для виготовлення поворотного кулака доцільно застосовувати сталь 38ХА. Тому розглянутий вплив хімічного складу на її структуру та властивості і вибраний режим термообробки:

– термічна обробка сталі 38ХА включає поліпшення (гартування + високий відпуск) для досягнення високої міцності та в'язкості; гартування проводять при $t = (850-870) \text{ }^\circ\text{C}$ (вода або масло), відпуск – при $t = (550-650) \text{ }^\circ\text{C}$ (сталь схильна до флокенів та відпускнуї крихкості, тому потребує контрольованого охолодження).

Для розробки технологічного процесу відновлення поворотного кулака проаналізовані дефекти та причини їх виникнення, технічні вимоги на дефектацію та до відремонтованого поворотного кулака. Вибрані раціональні способи його відновлення:

Дефект №1 – знос шийки під зовнішній підшипник – залізнення. Дефект №2 – знос кільця під сальник – залізнення.

Залізнення виконують у Ванні Vette у водних розчинах хлористих солей (Електроліт Арт. FE001). Хлористе Fe розчиняють у дистильованій H_2O . Потім до неї додають соляну кислоту (12-16 г/л), підігрівають до $t = (82-92) \text{ }^\circ\text{C}$ і

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пропускають струм густиною $Y = (12-16) \text{ А/дм}^2$ протягом $\tau = (32-42)$ год. при відношенні $S_{ан} / S_{кат} = 1 / 2$, де $S_{ан}$ – площа анода, $S_{кат}$ – площа катода. При цьому 3-валентне Fe відновлюється до 2-валентного.

Дефект №3 – знос різьби М36х2-6г під гайку – вібродугове наплавлення.

Параметри вібродугового наплавлення поворотного кулака порошковим дротом Нп-ЗОХГСА на установці для автоматичного наплавлення РМ-9:

- частота обертання поворотного кулака $n_{кул} = 0,8 \text{ хв.}^{-1}$;
- напруга дуги наплавлення поворотного кулака $U_d = 28,0 \text{ В}$;
- сила струму наплавлення поворотного кулака $I_{струму} = 220,0 \text{ А}$;
- швидкість подачі електроду $v_{ел} = 0,45 \text{ м/хв.}$
- діаметр дроту $d_{др} = 1,8 \text{ мм}$;
- коефіцієнт наплавлення поворотного кулака $k_{напл} = 7,5 \text{ г/(А * год.)}$
- швидкість наплавлення поворотного кулака $v_{напл} = 10,5 \text{ м/год.}$;
- виліт електроду $l_{ел} = 25 \text{ мм}$;
- коефіцієнт використання електроду $k_{вик.ел} = 0,85$;
- витрата дроту на один кг наплавленого металу $v_{дроту} = 0,8 \text{ кг.}$
- продуктивність наплавлення поворотного кулака $p_{напл} = 7,2 \text{ кг/год.}$
- охолоджувальна рідина – (3-6)%-ний водяний розчин кальцинованої соди

Розроблений технологічний процес механічної обробки поворотного кулака після відновлення. Проведена розробка та досліджена працездатність універсального знімача підшипників передньої підвіски автомобілів за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION.

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Військовий автомобіль ЗІЛ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agro-business.com.ua/agrobusiness/item/25824-viiskovyi-zil.html>
2. 122-мм реактивна система залпового вогню 9К55 «Град-1» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vk.com/wall-50957736_360001
3. Дані бойових машин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9114797/page:33/>
4. Лікбез: як ламається поворотний кулак та як його ремонтувати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://master.shop/articles/likbez-yak-lamajetysya-povorotniy-kulak-ta-yak-yogo-remontuvati>
5. Призначення, будова і типи підвісок автомобіля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnyk-po-vlashtuvannju-avtomobilja-single/rozdil27-pryznachennja-budova-i-vydy-pidvisok-avtomobilja/punkt-povorotnyj-kulak>
6. Поворотний кулак: функції та симптоми несправностей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rovesnyknews.te.ua/povorotnyj-kulak-funkcziyi-ta-symptomy-nespravnostej/>
7. Що таке поворотний кулак в автомобілі? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.haohaoautoparts.com/info/what-is-a-steering-knuckle-in-a-car-77272041.html>
8. Що таке поворотний кулак і як працює? Принцип роботи і для чого потрібен [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://auto.ria.com/uk/terms/povorotnyj-kulak/>
9. Поворотний кулак – ключовий елемент підвіски вашого авто! [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://bus-shop.com.ua/ua/index.php?route=information/uni_news&news_id=141&srsId=AfmB0oqlRCsybVuJEajhJZPpr6SyVlpsyzkImeLJppv2Mwj09FVOf4AL
10. Поворотні кулаки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ford-shop.com.ua/catalogs/povorotnj-kulak/>

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Сталь 38ХА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://auremo.org/materials/stal-38ha.html>
12. Сталь 38ХА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uas.su/steelgrades/structuralsteel/alloyed/38XA/steel.php>
13. Сталь 38ХА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://specmetall.su/ctal-38ha>
14. Сталь конструкційна 38ХА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hotsteel.by/material/stal-konstruktsionnaya-38ha/>
15. Сталь конструкційна легована 38ХА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lenst.su/marki-staley/stal-konstrukcionnaya/stal-konstrukcionnaya-legirovannaya/38ha>
16. 38ХА – 37Cr4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://evек.com.ua/38ha-truba-krug-prutok.html>
17. Конструкційна сталь [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Конструкційна_сталь
18. Ремонт та відновлення деталей автомобілів. Методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» спеціальності J8 – «Автомобільний транспорт» / Укл.: Кальченко В.В., Венжега В.І. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2025. – 83 с.
19. Легована конструкційна сталь [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.stalmira.ua/articles/54-2009-07-25-18-11-57>
20. Таблиця відповідностей марок сталі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dinmark.com.ua/marky_stali/vsi-marky-stali-dlja-kriplennja
21. Вібродугове наплавлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7709007/page:14/>
22. Вібродугове наплавлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/4_4_7_3_.pdf
23. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога, Ю. К.

					КВРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Новосьолов, Ф. Я. Якубов; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів: Новий світ-2000, 2011. – 422 с.

24. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

25. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи ремонту автомобілів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» / Укладач: к.т.н., доцент Сасов О.О. – Кам'янське: ДДТУ, 2023 р. – 97 с.

26. Музичук В. І. Організація робіт підприємств технічного обслуговування. Навчальний посібник / В. І. Музичук, В. Ф. Анісімов. – Вінниця: ФОП Горбачук І.П., 2012. – 240 с.

27. Технологічні основи машинобудування: конспект лекцій для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / уклад.: С. Ю. Олійник, С. Г. Онищук, В. І. Тулупов. – Краматорськ: ДДМА, 2020. – 155 с.

28. Мощенок В. Основи обробки металів різанням: навч. посіб. / В. Мощенок, І. Пімонов, М. Скрипник. – London: LAMBERT Academic Publishing, 2025. – 264 с.

29. Центр SOLIDWORKS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: доступу: <http://solidworks.com.ua>

30. Rudyk O. Yu. Using SolidWorks to calculate of a tractors bearing puller / O. Yu. Rudyk, M. O. Homich, V. V. Seredyuk // Achievements and prospects of modern scientific research. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. Editorial EDULCP. Buenos Aires, Argentina. 2021. – Pp. 21-27. – URL: <https://sci-conf.com.ua/iv-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-achievements-and-prospects-of-modern-scientific-research-7-9-marta-2021-goda-buenos-ajres-argentina-arhiv/>

31. Рудик О. Ю. Комп'ютерне моделювання захвата знімача / О. Ю. Рудик, С. В. Псьол // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

науково-практичної Internet-конференції. – Черкаси: ЧНУ, 2021. – С. 115-117. –

Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/10219>

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					КвРМТВА. 23118.02.17.00	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		