

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Удосконалення технологічного процесу відновлення

кульової опори MEYLE 1160100043

автомобіля MAN TGE

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МА-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Павло ІВАНЧУК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Володимир ТЕСЛЯ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Тетяна ПИНДУС
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 21 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Іванчук Павло Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу відновлення газооливної кульової опори MEYLE 1160100043 автомобіля MAN TGE

Керівник роботи Тесля Володимир Олегович, к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 21 » січня 2026 року № 4/9-40.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристика автомобіля MAN TGE, базовий технологічний процес відновлення кульової опори

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Загально-технічний розділ. Технологічний розділ. Конструкторський розділ.
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Аналіз технологій. Ремонтне креслення. Загальний вигляд кульової опори.
Порівняльний аналіз. Приспосіблення для кріплення і базування деталі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>к.т.н., доцент Віктор СЕНЧИШИН</i>		

7. Дата видачі завдання 21.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Загально-технічний розділ</i>	<i>16.02.2026</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>16.03.2026</i>	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>02.04.2026</i>	
4	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>23.04.2026</i>	
5	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>21.05.2026</i>	
6	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.06.2026</i>	

Студент

(підпис)

Павло ІВАНЧУК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Володимир ТЕСЛЯ

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Удосконалення технологічного процесу відновлення кульової опори
MEYLE 1160100043 автомобіля MAN TGE»
студента групи МА – 41 спеціальності 274 – Автомобільний транспорт
ТНТУ імені Івана Пулюя
Павло ІВАНЧУК

У даній роботі розглядається процес розроблення технологічного методу для відновлення кульової опори MEYLE 1160100043, яка встановлюється на автомобіль MAN TGE.

Кульова опора є однією з найважливіших деталей підвіски, що безпосередньо впливає на керованість та стійкість автомобіля. Особливо актуальним є її своєчасне відновлення для комерційних транспортних засобів, таких як MAN TGE, які часто експлуатуються в напруженому режимі.

Установлено основні причини зношування опори та види пошкоджень, які виникають під час експлуатації. Обґрунтовано потребу у розробленні оптимального технологічного процесу, що дозволяє забезпечити якість ремонту та продовжити термін служби вузла підвіски.

Запропоновано модернізацію процесу відновлення з використанням сучасного обладнання та спеціальних пристосувань. Розраховано параметри технологічного обладнання та визначено показники якості при контролі готової деталі.

Розроблена методика контролю основних параметрів опори після її ремонту, яка забезпечує надійність вузла під час подальшої експлуатації.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Будова та призначення кульової опори	8
1.2 Конструктивні особливості підвіски автомобіля MAN TGE	11
1.3 Аналіз умов експлуатації та причин зношування опори	13
1.4 Основні види дефектів та методи їх діагностики	15
1.5 Висновки до першого розділу	20
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Розроблення технологічного процесу відновлення	21
2.2 Послідовність операцій та вимоги до їх виконання	24
2.3 Вибір та обґрунтування обладнання	31
2.4 Розрахунок основних технологічних показників	33
2.5 Дільниця для відновлення кульової опори	34
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	37
3.1 Проектування пристосування для розбирання-складання опори	37
3.2 Розрахунок навантажень та напружень	39
3.3 Визначення основних параметрів пристосування	41
3.4 Матеріали та технічні характеристики	42
3.5 Розрахунок пристосування на міцність	44
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	49
4.1 Техніка безпеки при роботі з пристосуванням	49
4.2 небезпечні та шкідливі фактори	53
4.3 Заходи з охорони навколишнього середовища	53
4.4. Розрахунок освітлення робочих місць	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку автомобільного транспорту України характеризується стрімким збільшенням частки малотоннажних комерційних автомобілів, серед яких особливе місце посідає сімейство автомобілів MAN TGE. Даний тип рухомого складу експлуатується в умовах інтенсивних логістичних навантажень, незадовільного стану дорожнього покриття та частого перевищення номінальної вантажопідйомності. Це призводить до прискореного зносу елементів ходової частини, зокрема вузлів напрямного апарату підвіски.

Кульова опора MEYLE 116 010 0043 є критично важливим елементом підвіски, що сприймає знакозмінні динамічні навантаження і безпосередньо впливає на керованість, стійкість та безпеку руху автомобіля. Традиційна стратегія технічного сервісу, що базується на повній заміні зношених вузлів новими, у сучасних умовах стикається з економічними обмеженнями (зростання вартості оригінальних запчастин) та екологічними викликами.

У зв'язку з цим, наукове обґрунтування, розробка та впровадження вискоєфективних технологій відновлення (регенерації) кульових опор є актуальною науково-практичною задачею. Це дозволяє реалізувати принципи циркулярної економіки, знизити собівартість утримання комерційного автопарку та забезпечити надійність експлуатації відновлених вузлів на рівні, близькому до первинних виробів.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності експлуатації та зниження витрат на технічне обслуговування автомобілів MAN TGE шляхом наукового обґрунтування та розробки оптимального технологічного процесу відновлення кульової опори MEYLE 116 010 0043 із забезпеченням нормативних показників надійності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання

Проаналізувати конструктивні особливості підвіски автомобіля MAN TGE та умови роботи кульової опори MEYLE 116 010 0043.

Дослідити характерні види, механізми та причини зносу елементів трибоспряження у процесі експлуатації.

Провести порівняльний аналіз існуючих методів відновлення шарових з'єднань та обґрунтувати вибір раціональної технології (зокрема, методу безрозбірного полімерного заповнення під тиском або повного ренівелювання із заміною компонентів).

Розробити технологічну карту процесу відновлення кульової опори та підібрати конструкційні матеріали (композитні полімери) з покращеними антифрикційними властивостями.

Виконати розрахунково-експериментальну оцінку механічних характеристик (зусилля виривання, момент зрушення) відновленого вузла та оцінити його залишковий ресурс.

Розрахувати економічний ефект від впровадження розробленої технології у порівнянні з придбанням нових аналогів.

Об'єкт дослідження – процес зміни технічного стану та відновлення експлуатаційних властивостей деталей підвіски комерційних автомобілів.

Предмет дослідження – технологія регенерації та показники механічної міцності кульової опори MEYLE 116 010 0043 автомобіля MAN TGE.

Наукова новизна одержаних результатів. Полягає у встановленні закономірностей впливу параметрів технологічного процесу відновлення (температури, тиску введення полімеру та його композиційного складу) на фізико-механічні характеристики та кінематичну точність відновленого шарового з'єднання в умовах циклічного навантаження, характерного для автомобілів класу.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Будова та призначення кульової опори

Кульова опора є одним із базових елементів з'єднання в підвісці колісних транспортних засобів і виконує одразу кілька критично важливих функцій. Її конструкція забезпечує зміну кута повороту колеса відносно кузова або рами автомобіля, зберігаючи при цьому жорсткий кінематичний зв'язок між елементами підвіски. Одночасно через опору передаються як статичні навантаження, зумовлені масою транспортного засобу, так і динамічні – ті, що виникають під час руху, гальмування, прискорення або подолання нерівностей дорожнього покриття. Саме поєднання рухливості та здатності сприймати значні зусилля визначає ключову роль цього вузла в забезпеченні керованості та безпеки автомобіля.

Модель MEYLE 1160100043 розроблена з урахуванням конструктивних особливостей автомобілів сімейства MAN TGE і орієнтована на забезпечення збалансованого поєднання жорсткості та функціональної рухливості. Це дозволяє вузлу ефективно працювати в умовах підвищених навантажень, характерних для комерційного транспорту. Конструкція опори включає кілька основних елементів: корпус, кульовий палець, полімерний вкладиш і захисний пильовик, кожен із яких виконує чітко визначену функцію та впливає на загальну надійність вузла.

Корпус опори виготовляється з ковкого чавуну, що обумовлено його здатністю поєднувати достатню механічну міцність із відносною пластичністю. Такий матеріал добре протистоїть циклічним навантаженням і має підвищену стійкість до корозійних процесів, що є важливим з огляду на експлуатацію в агресивному середовищі (волога, реагенти, пил). У середині корпусу формується сферична порожнина, яка слугує посадковим місцем для кульового пальця. Геометричні параметри корпусу, зокрема товщина стінок і форма робочої зони, підбираються з урахуванням граничних навантажень, що можуть

виникати під час експлуатації, аби запобігти деформаціям і передчасному руйнуванню.

Кульовий палець є основним навантаженим елементом опори. Його виготовляють із високовуглецевої або легваної сталі з подальшою термічною обробкою, що підвищує твердість і зносостійкість поверхні. Робоча частина пальця має форму сферичної головки, яка контактує з полімерним вкладишем і забезпечує необхідну свободу обертання в межах заданих кутів. Важливо, що якість обробки цієї поверхні безпосередньо впливає на рівень тертя та швидкість зношування. Фіксація пальця в корпусі здійснюється за допомогою різьбового з'єднання або гвинта, що дозволяє досягти належної герметичності та запобігти ослабленню вузла під час роботи.

Полімерний вкладиш виконує функцію проміжного шару між металевими поверхнями, зменшуючи коефіцієнт тертя та забезпечуючи плавність руху. Як правило, для його виготовлення застосовують фторопласт або матеріали з подібними антифрикційними властивостями. Це дозволяє мінімізувати потребу в частому обслуговуванні та підвищити ресурс опори. Вкладиш розташовується безпосередньо у сферичній порожнині корпусу і водночас виконує роль демпфуючого елемента, частково поглинаючи мікроколивання та ударні навантаження.

Пильовик являє собою еластичний ущільнювальний елемент, зазвичай виготовлений із гуми або синтетичних еластомерів. Його основне завдання є захист внутрішнього простору опори від потрапляння пилу, бруду, води та інших сторонніх частинок, які можуть різко прискорити зношування контактних поверхонь. Пильовик щільно прилягає як до корпусу, так і до кульового пальця, формуючи герметичний бар'єр. Від стану цього елемента значною мірою залежить довговічність усього вузла, оскільки навіть незначні пошкодження можуть призвести до втрати мастила та забруднення робочої зони.

Мастильний матеріал, що знаходиться всередині опори, виконує одразу кілька функцій: знижує тертя, відводить тепло та сприяє рівномірному розподілу навантажень між контактними поверхнями. Правильний вибір

мастила має принципове значення, оскільки воно повинно зберігати свої властивості в широкому діапазоні температур і не втрачати ефективності під впливом вологи або механічних навантажень. Недостатня якість або деградація мастила безпосередньо впливають на швидкість зносу та можуть спричинити передчасний вихід опори з ладу.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд кульової опори

Технічні параметри кульової опори MEYLE 1160100043:

- ✓ Максимальне осьове навантаження: до 80 кН
- ✓ Діаметр кульового пальця: 19 мм
- ✓ Загальна висота: близько 95 мм
- ✓ Матеріал корпусу: ковкий чавун
- ✓ Матеріал пальця: легована сталь
- ✓ Матеріал вкладиша: фторопласт

1.2 Конструктивні особливості підвіски автомобіля MAN TGE

MAN TGE належить до класу легких комерційних автомобілів і призначений для перевезення як вантажів, так і пасажирів у різних умовах експлуатації. Конструкція шасі та підвіски цього автомобіля розроблена з урахуванням сучасних інженерних підходів, що дозволяє поєднати достатній рівень комфорту з високою надійністю та витривалістю. Це особливо важливо для комерційного транспорту, який часто експлуатується з підвищеним навантаженням і в інтенсивному режимі.

Передня підвіска MAN TGE реалізована за схемою незалежної підвіски, що передбачає використання подвійних поперечних важелів у поєднанні зі спіральними пружинами. Така конструкція забезпечує ефективне поглинання ударів і коливань, що виникають під час руху нерівними дорогами, а також сприяє стабільному контакту коліс із дорожнім покриттям. Завдяки цьому покращується керуваність автомобіля, зокрема під час проходження поворотів або виконання маневрів на швидкості, оскільки навантаження між колесами розподіляється більш рівномірно.

Важливо зазначити, що застосування подвійних поперечних важелів дозволяє точніше контролювати геометрію колеса під час руху, зокрема кути розвалу та сходження. На практиці це означає, що навіть при значних ходах підвіски колесо зберігає оптимальне положення відносно дорожнього покриття. Наприклад, під час проходження нерівностей або змін навантаження кузова геометрія підвіски компенсує зміщення, забезпечуючи стабільну площу контакту шини з дорогою. Це безпосередньо впливає на зчеплення, що є критично важливим для комерційного транспорту, який регулярно працює в умовах змінного завантаження.

Кульові опори встановлюються у вузлах з'єднання поперечних важелів із поворотним кулаком і виконують роль шарнірів, що забезпечують необхідну рухливість при збереженні жорсткості з'єднання. Конструктивно передбачено використання двох кульових опор на кожному боці автомобіля: одна інтегрована в нижній важіль, інша – у верхній. Така схема дозволяє

оптимізувати розподіл силових навантажень, що діють на підвіску, а також підвищує точність передавання керуючих зусиль від рульового механізму до коліс. У результаті автомобіль більш передбачувано реагує на дії водія, що є критично важливим для безпеки руху.

У реальних умовах експлуатації кульові опори працюють у складному режимі змінних навантажень. Наприклад, під час руху по міських дорогах із частими зупинками та стартами або при наїзді на нерівності чи перешкоди на зразок вибоїн, на вузол діють короточасні ударні навантаження, які можуть перевищувати номінальні. Практика обслуговування показує, що при регулярній експлуатації автомобіля з перевантаженням ресурс кульових опор може зменшуватися приблизно на 20–30%. Використання двох опор у конструкції дозволяє частково компенсувати ці впливи за рахунок більш рівномірного розподілу напружень і зниження локальних перевантажень.

Задня підвіска MAN TGE має залежну конструкцію, що є типовим рішенням для транспортних засобів вантажного типу. Вона відрізняється підвищеною міцністю та здатністю витримувати значні навантаження, хоча й поступається незалежним системам за рівнем комфорту. У таких схемах кульові опори можуть застосовуватися в місцях з'єднання поздовжніх і поперечних важелів із елементами трансмісії, зокрема з редуктором або ведучим мостом. Це забезпечує необхідну рухливість вузлів при одночасному збереженні їхньої геометричної стабільності.

Ефективність роботи системи керування безпосередньо залежить від технічного стану кульових опор. У процесі експлуатації вони піддаються зношуванню, що призводить до появи люфтів у шарнірних з'єднаннях. Навіть незначний люфт може мати відчутні наслідки, оскільки порушується точність позиціонування колеса відносно дороги. Це, своєю чергою, спричиняє низку негативних ефектів:

- ✓ виникнення вібрацій або биття керма під час руху, особливо на нерівностях;
- ✓ збільшення опору коченню, що опосередковано впливає на витрату палива;

- ✓ нерівномірний та прискорений знос шин через порушення кутів установки коліс;
- ✓ погіршення загальної керованості, зокрема зниження точності реакції на повороти керма;
- ✓ підвищення ризику небезпечних ситуацій під час гальмування або різких маневрів;

На практиці стан кульових опор часто оцінюється не лише під час планового технічного обслуговування, але й за непрямими ознаками, які проявляються під час експлуатації. Зокрема, характерні стуки в передній частині підвіски при русі по нерівностях або під час зміни напрямку руху можуть свідчити про збільшений зазор у шарнірі. Для більш точної оцінки застосовуються інструментальні методи, зокрема перевірка люфту за допомогою монтажного важеля або спеціалізованих діагностичних стендів. У сервісній практиці вважається, що навіть незначне перевищення допустимих значень люфту є підставою для заміни опори, оскільки подальша експлуатація призводить до прискореного зношування суміжних елементів підвіски.

З огляду на це регулярна діагностика стану кульових опор, а також їх своєчасне обслуговування або заміна є обов'язковими заходами в процесі експлуатації MAN TGE. Такий підхід дозволяє не лише продовжити ресурс підвіски, а й забезпечити стабільні характеристики керованості та належний рівень безпеки під час руху.

1.3 Аналіз умов експлуатації та причин зношування опори

Комерційні автомобілі експлуатуються в широкому спектрі умов, які безпосередньо впливають на інтенсивність зношування елементів підвіски. MAN TGE часто використовується на маршрутах із різною якістю дорожнього покриття, включно з ділянками, де наявні значні нерівності або дефекти дороги. У таких умовах навантаження на вузли підвіски носять не лише статичний, а й виражений динамічний характер, що суттєво прискорює процеси деградації матеріалів і зниження ресурсу компонентів.

Суттєвий вплив на зношування кульових опор має рівень завантаження автомобіля, оскільки при повному або близькому до максимального навантаженні значно зростає сила, що передається через цей вузол. У таких умовах підвищується контактний тиск між кульовим пальцем і вкладишем, що призводить до інтенсивнішого зношування антифрикційного шару. Якщо транспортний засіб тривалий час експлуатується з перевищенням рекомендованої вантажопідйомності, це спричиняє прискорене збільшення зазорів у шарнірі та появу люфту, що негативно впливає на точність керування.

Важливим фактором також є якість дорожнього покриття, яка безпосередньо визначає характер навантажень на підвіску. Під час руху через вибоїни, тріщини або інші нерівності виникають короткочасні ударні впливи, що можуть у декілька разів перевищувати статичні значення. Такі імпульсні навантаження спричиняють локальні перевантаження в зоні контакту, пошкоджують полімерний вкладиш і можуть ініціювати утворення мікротріщин у корпусі опори, що з часом знижує її міцність.

Температурні умови експлуатації також відіграють важливу роль, оскільки зміни температури впливають на властивості мастильних матеріалів і полімерних компонентів. За низьких температур мастило загусає, що підвищує опір руху кульового пальця і збільшує навантаження на контактні поверхні. В умовах підвищених температур, навпаки, відбувається зниження в'язкості мастила, що погіршує його здатність формувати захисну плівку між деталями, унаслідок чого прискорюється процес зношування.

Значну роль у зниженні ресурсу відіграє вплив забруднень і вологи, особливо у випадках порушення герметичності вузла. При пошкодженні або зношенні пильовика всередину опори можуть проникати вода, пил і абразивні частинки. Це створює умови для одночасного розвитку корозійних процесів і механічного стирання поверхонь, що суттєво пришвидшує руйнування як металевих, так і полімерних елементів.

Негативний вплив також чинить агресивне хімічне середовище, яке формується, зокрема, внаслідок використання протиковзаючих реагентів у зимовий період. Солі та інші активні речовини прискорюють корозійні процеси

на металевих поверхнях, що призводить до утворення дефектів і зниження міцності матеріалу. Такі пошкодження можуть виступати концентраторами напружень і сприяти подальшому розвитку тріщин.

Стиль керування транспортним засобом також впливає на довговічність кульових опор, оскільки агресивна експлуатація супроводжується підвищеними динамічними навантаженнями. Різкі маневри, наїзди на перешкоди без зниження швидкості або часті удари кермом призводять до перевищення розрахункових навантажень, що прискорює зношування вузла та підвищує ймовірність появи люфту.

У практичних умовах експлуатації зазначені фактори зазвичай діють одночасно, підсилюючи негативний ефект один одного. Наприклад, рух перевантаженого автомобіля по нерівній дорозі в умовах низьких температур створює поєднання підвищених механічних і несприятливих умов тертя, що значно скорочує ресурс вузла порівняно з номінальними умовами.

Типовий термін служби оригінальної кульової опори за нормальних умов становить приблизно 80–120 тисяч кілометрів пробігу. Однак за наявності несприятливих факторів, таких як перевантаження, поганий стан доріг або порушення герметичності, цей ресурс може скорочуватися вдвічі. Це підкреслює необхідність регулярного технічного контролю стану підвіски та своєчасної заміни зношених елементів для забезпечення надійної та безпечної експлуатації автомобіля.

1.4 Основні види дефектів та методи їх діагностики

Кульові опори можуть зазнавати різних типів пошкоджень, кожен із яких по-різному впливає на працездатність підвіски та потребує або відновлення, або повної заміни вузла. У більшості випадків ці дефекти розвиваються поступово, однак за несприятливих умов експлуатації можуть проявлятися досить швидко, що підвищує ризики для безпеки руху.

Конструкція кульової опори являє собою закриту шарнірну пару, де сферичний палець взаємодіє з полімерним вкладишем, поміщеним у металевий

корпус.

На основі експлуатаційних даних та дефектації виділяють такі основні дефекти:

➤ Знос та деформація полімерного вкладиша. Під дією циклічних радіальних і осьових навантажень матеріал вкладиша (модифікований поліамід) зазнає пластичної деформації та втомного зношування. Це призводить до утворення зазору всередині шарніра та появи вільного ходу (люфту).

➤ Абразивний та корозійний знос сферичної поверхні пальця. Виникає внаслідок деструкції пильовика. Потрапляння вологи та абразивних часток (пісок, солі) руйнує заводське мастило, викликаючи гідроабразивне зношування (вистришування металу) на сфері пальця.

➤ Механічні пошкодження захисного чохла (пильовика). Тріщини, розриви або втрата еластичності гуми внаслідок старіння матеріалу під впливом температурних перепадів та агресивних середовищ.

➤ Втомні мікротріщини та деформація конусної частини пальця. Рідкісний, але найбільш небезпечний дефект, викликаний ударними навантаженнями від дорожнього покриття під час максимального завантаження автомобіля MAN TGE.

➤ Порушення геометрії кріпильного фланця корпусу. Зминання або корозія посадочних поверхонь під болти міцності (опора MEYLE 116 010 0043 фіксується до важеля за допомогою двох болтів).

Одним із найпоширеніших дефектів є поява люфту у з'єднанні, який виникає внаслідок поступового зношування полімерного вкладиша. У результаті між кульовим пальцем і корпусом утворюється зазор, що дозволяє елементам здійснювати неконтрольований відносний рух. Це призводить до втрати точності роботи шарніра і погіршення керованості автомобіля. Діагностика такого стану зазвичай виконується на оглядовій ямі або підйомнику, де перевіряють рухливість колеса шляхом його розхитування у вертикальній площині. Якщо спостерігається вільний хід і характерні удари, це є прямою ознакою необхідності ремонту або заміни опори.

Іншим поширеним дефектом є порушення герметичності вузла, яке

проявляється у вигляді розриву пильовика або витікання мастила. Коли захисний елемент втрачає цілісність, мастильний матеріал поступово виходить назовні, а всередину починають проникати волога та абразивні частинки. Це призводить до переходу роботи вузла в режим сухого або недостатньо змащеного тертя, що значно прискорює зношування вкладиша і поверхні кульового пальця. Подібний дефект зазвичай виявляється під час візуального огляду, оскільки на поверхні пильовика або корпусу можуть бути помітні сліди мастила чи механічні пошкодження.

Більш серйозним видом пошкодження є утворення тріщин у корпусі опори, які виникають під дією значних ударних або циклічних навантажень. Такі дефекти є критичними, оскільки через тріщини відбувається витік мастила, а також безперешкодне проникнення води та бруду всередину вузла. Це прискорює як корозійні процеси, так і механічне руйнування контактних поверхонь. У більшості випадків опори з тріщинами не підлягають відновленню, оскільки порушується цілісність силового елемента конструкції, що робить експлуатацію потенційно небезпечною.

Окремо варто виділити глобальну корозію, яка розвивається внаслідок тривалого впливу вологи, солей та агресивних дорожніх реагентів. У процесі корозійного ураження метал поступово втрачає свої міцнісні характеристики, з'являються поверхневі виразки та ослаблення структури матеріалу. У початкових стадіях корозійні відкладення іноді можна усунути механічною очисткою, однак при глибокому ураженні матеріалу деталь втрачає працездатність і підлягає заміні, оскільки ризик руйнування під навантаженням стає надто високим.

Ще одним типом зносу є зміна геометрії сферичної поверхні кульового пальця, яка виникає при інтенсивному абразивному впливі. У цьому випадку форма робочої поверхні поступово відхиляється від розрахункової, що призводить до порушення контакту з полімерним вкладишем. У результаті виникають нерівномірні навантаження та можливе проковзування пальця під час маневрування або гальмування, що негативно впливає на стабільність роботи підвіски.

Методи діагностики кульових опор включають комплекс заходів, спрямованих на оцінку їх технічного стану. Найпростішим і найпоширенішим є візуальний огляд, який виконується під час встановлення автомобіля на оглядову яму або підйомник. У процесі перевіряють цілісність пильовика, наявність тріщин на корпусі та сліди витoku мастила, оскільки ці ознаки часто є першими індикаторами несправності. Для отримання достовірної інформації про технічний стан вузла в інженерній практиці застосовують комплексний підхід, що поєднує органолептичні, інструментальні та лабораторні методи.

Органолептичний та візуальний контроль. Суть даного методу полягає в огляді вузла безпосередньо на автомобілі або після демонтажу з метою виявлення явних макродефектів. Діагностується цілісність гумового пильовика, наявність витoku мастила, явна корозія корпусу, стан нарізної частини пальця та фіксувальних болтів.

Органолептично-механічний контроль (метод люфтування). Суть даного методу полягає в прикладанні знакозмінного зусилля до колеса або важеля підвіски вивішеного автомобіля за допомогою монтажної лопатки (монтажування) або на спеціалізованому детекторі люфтів. Діагностується наявність стуків та відчутних радіальних або осьових переміщень пальця відносно корпусу.

Інструментальний контроль зазору. Для отримання точних кількісних показників, необхідних для дипломного проєкту, застосовують індикатор годинникового типу і фіксують величину осьового (S_{ax}) та радіального (S_{rad}) зазорів:

$$\Delta S = S_{fact} - S_{nom} \quad (1.1)$$

Корпус опори жорстко фіксується у пристрої, а до пальця прикладається нормативне зусилля (зазвичай ± 1000 Н). Надійно закріплений індикатор фіксує переміщення. Якщо осьовий люфт перевищує ліміт нормованого допуску (для комерційного транспорту критичним є значення $\Delta S \geq 0.5 - 0.8$ мм), вузол підлягає обов'язковому відновленню або заміні.

Методи дефектоскопії застосовується на етапі дефектації знятого вузла перед безпосереднім прийняттям рішення про технологію регенерації:

Таблиця 1.1 – Методи дефектоскопії

Метод контролю	Об'єкт дослідження	Що виявляє
Магнітопорошковий або капілярний	Сферичний палець (після очищення та розбирання)	Втомні мікротріщини в зоні переходу від сфери до галтелі та на конусній поверхні
Профілометрія (оцінка шорсткості)	Сферична поверхня пальця	Мікрогеометрію, риски, задири. Параметр R_a повинен бути не більше ніж 0.16-0.32 мкм для забезпечення довговічності нового полімеру

Додатково застосовується перевірка люфту, під час якої один із механіків фіксує елементи підвіски або приводного вузла, а інший здійснює розхитування колеса у вертикальній площині. Наявність вільного ходу, сторонніх звуків або відчутних ударів свідчить про зношування шарніра і втрату його функціональної жорсткості.

Також використовується вимірювання геометричних параметрів за допомогою штангенциркуля або інших вимірювальних інструментів. Це дозволяє оцінити ступінь зношування кульового пальця та корпусу шляхом порівняння фактичних розмірів із нормативними значеннями. Такий підхід особливо корисний для більш точної діагностики на ранніх етапах деградації вузла.

Окремо проводиться перевірка на плавність ходу, під час якої оцінюється опір обертанню кульового пальця вручну. Підвищена жорсткість або нерівномірний рух зазвичай свідчать про розвиток абразивного зношування або наявність корозійних процесів усередині вузла, що також є підставою для

подальшого технічного втручання.

Матриця прийняття рішень щодо відновлення. З точки зору інженерного менеджменту, не кожен дефект дозволяє проводити регенерацію вузла. Нижче наведено граничні стани для кульової опори MEYLE 116 010 0043.

Дозволено відновлення знос полімерного вкладиша (люфт до 2.0 мм), легкий матовий знос сфери пальця (без глибокої корозії та задирів), пошкодження пильовика (за умови, що палець не пошкоджений абразивом).

Категорично заборонено (деталь у брукт). Наявність тріщин на пальці або корпусі, глибока кавітація та корозійні раковини на сфері, деформація конуса пальця, розтягнення чи пошкодження отворів кріпильного фланця. Скорочення міцності металевої основи створює загрозу раптового руйнування (виривання пальця), що неприпустимо з міркувань безпеки.

1.5 Висновки до першого розділу

На основі проведеного аналізу конструкції та умов експлуатації кульової опори MEYLE 1160100043 можна зробити наступні висновки:

1. Конструкція опори передбачає кілька варіантів пошкоджень, які можуть виникнути при експлуатації.
2. Люфт у з'єднанні та пошкодження пильовика являються найпоширенішими дефектами, що дозволяє виправити шляхом заміни компонентів.
3. Розробка спеціалізованого процесу відновлення дозволить значно скоротити вартість ремонту та забезпечити якість виконання робіт.
4. Для впровадження такого процесу необхідно розробити детальну технологічну методику, спеціальне обладнання та пристосування.
5. Контроль якості відновленої опори є критичним для забезпечення безпеки та надійності автомобіля.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розроблення технологічного процесу відновлення

Технологічний процес відновлення кульової опори являє собою послідовність взаємопов'язаних операцій, спрямованих на повернення вузла до працездатного стану з відновленням його експлуатаційних характеристик. Кожен етап має чітке функціональне призначення, а дотримання правильної послідовності виконання робіт безпосередньо впливає на якість та довговічність відремонтованої деталі. Загалом процес включає дефектацію, розбирання, очищення, відновлення або заміну компонентів, а також остаточне складання та заповнення мастилом.

Початковим етапом є первинна дефектація, під час якої виконується зовнішній огляд кульової опори та оцінюється її загальний технічний стан. На цьому кроці фіксуються геометричні параметри основних елементів, зокрема діаметри кульового пальця та посадкових поверхонь корпусу, а також аналізується стан пильовика, наявність тріщин, слідів витoku мастила і корозійних пошкоджень. За результатами огляду визначається придатність деталі до ремонту, і у випадку виявлення критичних дефектів, таких як глибокі тріщини або значні деформації корпусу, опора виключається з подальшого відновлення.

Після цього виконується розбирання вузла, яке передбачає фіксацію опори у спеціальному пристосуванні для забезпечення стабільного положення під час демонтажу. Далі за допомогою інструменту з контрольованим крутним моментом відкручується елемент кріплення кульового пальця, після чого сам палець акуратно витягується разом із вкладишем. Пильовик при цьому демонтується окремо і, як правило, утилізується, оскільки повторне використання цього елемента не допускається через втрату його герметизуючих властивостей.

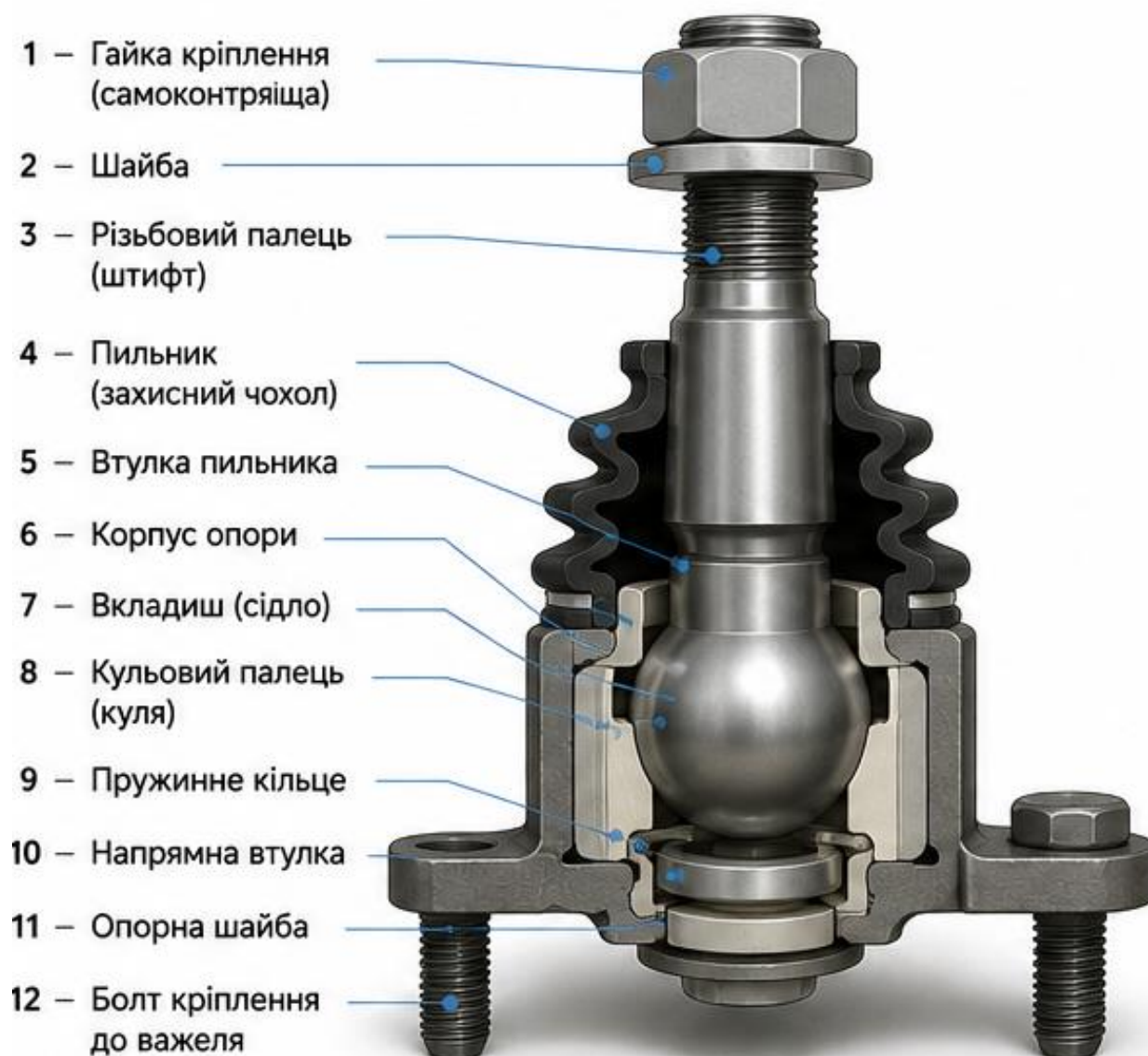


Рисунок 2.1. – Будова кульової опори

Наступним етапом є очищення компонентів від старого мастила та забруднень, яке необхідне для забезпечення якісного подальшого огляду та відновлення. Деталі занурюються у спеціальні мийні розчини або лужні середовища з підвищеною температурою, що дозволяє ефективно видалити залишки мастила, продукти зносу та окисні нашарування. Додатково застосовується механічне очищення щітками, особливо в місцях зі стійкими забрудненнями, оскільки навіть незначні залишки старого мастила можуть негативно вплинути на роботу оновленого вузла.

Після очищення проводиться детальна дефектація компонентів, під час якої особлива увага приділяється стану кульового пальця та його сферичної

поверхні. Оцінюється наявність абразивного зносу, корозійних уражень та локальних деформацій, які можуть впливати на кінематику роботи шарніра. Якщо дефекти мають незначний характер, допускається відновлення поверхні, однак у випадку суттєвого зносу або порушення геометрії деталь підлягає заміні, оскільки подальша експлуатація може бути небезпечною.

Таблиця 2.1 – Призначення елементів кульової опори

1 – Гайка кріплення	Фіксує різьбовий палець, запобігає його осьовому зміщенню
2 – Шайба	Розподіляє навантаження від гайки на пильник
3 – Різьбовий палець	З'єднує кульову опору зі стійкою/кулаком, передає навантаження
4 – Пильник	Захищає внутрішні елементи від бруду та вологи
5 – Втулка пильника	Утримує пильник у посадковому місці
6 – Корпус опори	Є основою, в якій розміщена куля та вкладиш
7 – Вкладиш (сідло)	Приймає кулю, забезпечує низьке тертя та зносостійкість
8 – Кульовий палець (куля)	Забезпечує сферичне з'єднання та поворот у всіх напрямках
9 – Пружинне кільце	Фіксує кулю у сідлі від випадіння
10 – Напрямна втулка	Забезпечує правильне положення кулі та зменшує тертя
11 – Опорна шайба	Сприймає осьові навантаження
12 – Болт кріплення до важеля	Закріплює опору до важеля підвіски

За потреби виконується полірування та відновлення поверхні кульового пальця, що спрямоване на усунення дрібних дефектів і зменшення мікронерівностей. Для цього використовуються абразивні матеріали та полірувальні пасти, які дозволяють повернути поверхні необхідну гладкість. Водночас важливо контролювати інтенсивність обробки, щоб не порушити геометричні параметри деталі, оскільки навіть незначні відхилення можуть вплинути на роботу шарнірного з'єднання.

Далі здійснюється заміна вкладиша та пильовика, оскільки ці елементи безпосередньо забезпечують як функціонування вузла, так і його захист від зовнішніх впливів. Новий полімерний вкладиш встановлюється у сферичну порожнину корпусу з точним приляганням до робочих поверхонь, що гарантує стабільність руху кульового пальця. Пильовик монтується таким чином, щоб забезпечити герметичність вузла та запобігти проникненню вологи, пилу й абразивних частинок у процесі подальшої експлуатації.

Після цього виконується складання опори, під час якого кульовий палець встановлюється у корпус із новим вкладишем, забезпечуючи його повне входження у сферичну посадкову зону. Далі здійснюється затягування фіксуєчого елемента з контрольованим крутним моментом у межах 30–40 Нм, що є критично важливим для правильного функціонування вузла. Завершується етап видаленням надлишків мастила та перевіркою правильності складання.

Останнім етапом є заповнення вузла мастилом, яке виконується відповідно до технічних вимог виробника. Кількість мастильного матеріалу повинна бути точно дозованою, оскільки як його надлишок, так і нестача негативно впливають на роботу опори. Надмірне заповнення може призвести до підвищення внутрішнього тиску та витоків, тоді як недостатня кількість знижує ефективність змащування і прискорює зношування контактних поверхонь.

2.2 Послідовність операцій та вимоги до їх виконання

Детальна послідовність виконання операцій забезпечує нормативну якість відновлення, геометричну точність рухомих спряжень та безпеку праці обслуговуючого персоналу. Специфіка регенерації кульової опори MEYLE 116 010 0043 автомобіля MAN TGE полягає у необхідності суворого контролю просторової орієнтації, напрямків руху деталей та векторів прикладання зусилля під час монтажно-демонтажних робіт.

Кінематичні особливості та вектори переміщення окремих конструктивних елементів шарніра в процесі регенерації та експлуатації регламентуються відповідною технологічною схемою (рис. 2.2).

Операція 1. Підготовка робочого місця

Робоче місце повинно бути очищеним від сторонніх предметів та забезпеченим комбінованим освітленням (загальним та локальним безпосередньо в зоні обробки). Проводиться комплектація необхідного інструменту, технологічного оснащення та засобів вимірювальної техніки: динамометричний ключ (діапазон 10–150 Н·м), очисні щітки, безворсові серветки, контейнери для сортування дефектних та нових деталей.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд кульової опори MEYLE 116 010 0043 автомобіля MAN TGE із вказанням напрямів руху

Операція 2. Закріплення опори у пристосуванні

Корпус кульової опори жорстко та нерухомо фіксується у технологічному пристосуванні за допомогою затискних елементів за базові поверхні кріпильного фланця. Пристосування позиціонується на верстаку таким чином, щоб забезпечити вільний доступ до технологічної різьбової пробки (гвинта) та виключити будь-які кутові або лінійні зміщення корпусу під час силового впливу. Напрямок руху корпусу при встановленні: суворо вертикальний, зверху-вниз у пази фіксатора.

Операція 3. Видалення нарізного гвинта

За допомогою динамометричного ключа до технологічного гвинта (або торцевої кришки) прикладається крутний момент у напрямку проти годинникової стрілки. Напрямок руху деталі: гвинт здійснює обертально-поступальний рух вздовж центральної вертикальної осі симетрії корпусу (осі Z), викручуючись вгору. Після повного демонтажу гвинт укладається в індивідуальну тару.

Операція 4. Витягування кульового пальця

Кульовий палець демонтується з внутрішньої порожнини корпусу. Як показано на схемі кінематики елементів (рис. 2.2, поз. 2), різьбовий палець (штифт) під час складання-розбирання здійснює суворо осьове переміщення (вгору-вниз). У випадку дифузійного схоплення або заклинювання пальця у зношеному вкладиші, застосовується силовий шток гідравлічного пристосування з невеликим зусиллям. Прикладання радіальних (бокових) зусиль чи надмірного форсування суворо заборонено, оскільки це може викликати деформацію гнізда корпусу та ексцентриситет внутрішньої сферичної поверхні.

Операція 5. Видалення вкладиша та пильовика

Старий полімерний вкладиш та еластичний захисний пильовик вилучаються з корпусу.

Вкладиш здійснює лінійний рух вгору (услід за пальцем або за допомогою спеціального екстрактора).

Пильник (захисний чохол) – під час демонтажу зсувається вздовж конуса

пальця вгору. Конструктивно пильоник (рис. 2.1, поз. 3) має здатність розтягуватися та стискатися при переміщенні, а пов'язана з ним втулка пильника (поз. 4) допускає незначне осьове переміщення вздовж тіла штифта. Для запобігання пошкодженню посадочного жолоба корпусу використовуються лопатки з полімерних матеріалів або твердих порід деревини.

Операція 6. Хімічне очищення компонентів

Усі розібрані залізомісткі елементи (корпус, палець, гвинт) занурюються у ванну з органічним розчинником на 20–30 хвилин. Мета операції повна деструкція залишків старого мастила та вимивання продуктів зносу. Потім деталі піддаються ультразвуковому або струминному промиванню теплою водою, сушаться стисненим повітрям та протираються безворсовим матеріалом.

Операція 7. Огляд, дефектація та метрологічний контроль

Проводиться візуальний контроль поверхонь під мікроскопом або лупою з 4-кратним збільшенням. Виконуються такі вимірювальні операції:

Визначення відхилення від сферичності головки пальця за допомогою мікрометра в трьох взаємно перпендикулярних площинах (допуск овальності ≤ 0.02 мм). Контроль внутрішнього діаметра та стану робочої камери корпусу. Капілярний контроль для виявлення втомних мікротріщин.

Операція 8. Відновлення геометрії та шорсткості (за потреби)

При виявленні мікрошорсткостей, рисок або слідів окиснення на сфері пальця, виконується його прецизійна механічна обробка на токарному верстаті. Напрямок руху: палець здійснює обертальний рух навколо своєї осі (шпиндель верстата), а полірувальний інструмент – повздовжньо-поперечну подачу. Поверхня доводиться до дзеркального блиску з параметром шорсткості $R_a \leq 0.16 - 0.20$ мкм, що мінімізує майбутній коефіцієнт тертя у трибоспряженні.

Операція 9. Встановлення нових компонентів (Складання)

Процес складання є дзеркальним до демонтажу, проте вимагає високої точності суміщення осей.

Новий вкладиш орієнтується суворо співвісно з корпусом і запресовується лінійним рухом зверху-вниз у сферичну порожнину склянки

корпусу до упору в донну частину. Важливо забезпечити рівномірне радіальне прилягання без перекосів.

Новий пильник: насувається на корпус. Напрямок руху: лінійний, зверху-вниз вздовж конуса пальця, після чого нижня юбка пильника за допомогою монтажного інструменту сідає у посадочний жолоб корпусу. Фіксує кільце стискається у радіальному напрямку, забезпечуючи герметичність.

Операція 10. Повторне збирання та регулювання натягу

Кульовий палець обережно вставляється в корпус. Взаємне рухоме з'єднання (рис. 2.1, поз. 6) кульового пальця (поз. 1) та вкладиша всередині корпусу опори відносно важеля (поз. 5) має забезпечувати сумісний рух усіх елементів для плавного обертання та кутового переміщення.

Технологічний гвинт закручується динамометричним ключем до вказаного крутного моменту для створення розрахункового попереднього натягу. Після складання палець повинен рухатися гладко, без лінійного люфту, реалізуючи свій робочий потенціал: поворот у всіх напрямках (поз. 1) та забезпечуючи невеликий кутовий рух самого корпусу опори відносно важеля підвіски (поз. 5).

Операція 11. Дозоване заповнення мастильним матеріалом

Через прес-маслянку або спеціальний технологічний канал проводиться нагнітання антифрикційного водостійкого мастила (наприклад, на літєвій або барієвій основі із дисульфідом молібдену MoS_2). Напрямок руху мастила: під тиском всередину шарніра, заповнюючи внутрішні канали вкладиша та порожнину пильовика. Введення припиняється при досягненні контрольної мітки або при легкому візуальному розширенні гофри пильовика. Надлишок мастила видаляється.

Операція 12. Фінішний контроль якості та маркування

Кульова опора піддається вихідному контролю технічного контролю (ВТК) на стенді для вимірювання зазорів під навантаженням. Перевіряється якість завальцювання/фіксації кришки та герметичність з'єднань під дією тиску повітря. Вузол маркується індивідуальним номером із зазначенням дати відновлення та заноситься до звітної відомості підприємства, після чого

пакується у захисну тару.

Кульова опора піддається вихідному контролю технічного контролю. На основі загального напрямку роботи опори (рис. 2.1, «Загальний напрямок роботи опори») перевіряється здатність шарніра безперешкодно витримувати робочі просторові вектори навантажень під час експлуатації на автомобілі MAN TGE, а саме, осьове навантаження (спрямоване вздовж осі пальця); кутове переміщення (відхилення пальця на кут під час ходу підвіски); поворот навколо вертикальної осі (забезпечення повороту керованих коліс автомобіля).

Перевіряється герметичність пильовика. Опора, що відповідає технічним умовам (зовнішній вигляд готового виробу наведено на рис. 2.2), упаковується та маркується індивідуальним номером із зазначенням дати відновлення.

Аналіз взаємодії кінематичних рухів шарніра та механізмів виникнення відповідних дефектів

Функціонування кульової опори MEYLE 116 010 0043 у складі передньої підвіски автомобіля MAN TGE характеризується складним просторовим напружено-деформованим станом. Робочі рухи елементів шарніра є взаємопов'язаними, а їхня деструкція (зношування) має чітку кореляцію із конкретними кінематичними та динамічними факторами експлуатації малотоннажного комерційного транспорту.

Розглянемо взаємодію основних видів рухів та специфіку дефектів, що виникають внаслідок їх реалізації.

Обертальний рух навколо вертикальної осі – рух здійснюється під час маневрування автомобіля, коли рульове керування повертає поворотний кулак, а разом з ним і корпус опори відносно сферичного пальця.

Механізм взаємодії сферична головка пальця здійснює циклічне ковзання по внутрішній поверхні полімерного вкладиша у горизонтальній площині.

Супутні дефекти радіальний знос вкладиша. Постійне тертя ковзання за умов високого питомого тиску призводить до втомного зношування контактних поверхонь полімеру, зменшення його товщини в робочих зонах та появи початкового радіального люфту.

Крутильний зсув пильовика. При кутових поворотах гумовий захисний чохол зазнає значних напружень скручування. При втраті еластичності або за низьких температур це призводить до появи втомних тріщин на гофрі пильовика та його подальшого розриву.

Просторове кутове переміщення. Під час руху автомобіля MAN TGE нерівностями дорожнього покриття важіль підвіски постійно переміщується вгору-вниз, викликаючи відхилення осі пальця відносно вертикальної осі симетрії корпусу на певний кут (кутове переміщення).

Механізм взаємодії сферична головка пальця здійснює коливальні рухи типу всередині гнізда вкладиша. Навантаження передається знакозмінно на верхню та нижню напівсфери трибоспряження.

Супутні дефекти такі як осьовий знос та пластична деформація вкладиша. Ударні імпульси від коліс через палець передаються на дно або запірну кришку корпусу, викликаючи деструкцію торцевих робочих зон полімеру та стрімке зростання осьового люфту.

Локальне стирання та мікротріщини на галтелі пальця. При екстремальних кутах відхилення пальця (наприклад, під час повного вивішування колеса або максимального стиску підвіски) циліндрична частина штифта може короткочасно контактувати з обмежувальною кромкою корпусу. Це викликає появу наклепу, зазубрин та концентраторів напружень на пальці.

Циклічне осьове та радіальне навантаження. Під дією сили ваги спорядженого та завантаженого автомобіля, а також центробіжних сил під час поворотів (бічний крен), на шарнір одночасно діють вектори вертикального (осьового) стиску/розтягу та горизонтального зсуву.

Механізм взаємодії конструктивні елементи пильовика (захисного чохла) та його металева втулка змушені постійно адаптуватися до зміни геометрії вузла, реалізуючи циклічні процеси розтягування, стискання та незначного осьового мікропереміщення вздовж тіла пальця.

Супутні дефекти такі як абразивний та корозійний знос сфери. Якщо захисний чохол втрачає герметичність у зоні прилягання внутрішньої втулки до пальця, або в зоні посадочного жолоба корпусу (внаслідок надмірних

радіальних деформацій), всередину вузла потрапляє волога та дорожній абразив. Під час взаємного ковзання деталей тверді частки діють як різальний інструмент, руйнуючи дзеркало сфери пальця та перетворюючи полімерний вкладиш на насичену абразивом наждачну матрицю.

Втомне руйнування різьбової частини та конуса пальця. Оскільки комерційний транспорт часто експлуатується з повним осьовим навантаженням, циклічні згинальні напруження на конусі пальця можуть ініціювати розвиток прихованих мікротріщин у металі, що є критично небезпечним дефектом.

Розвиток дефектів у кульовій опорі має лавиноподібний характер, де один рух стимулює руйнування від іншого

Розрив пильовика (кутовий рух) → Потраплення вологи/абразиву → Абразивне зношування сфери → Інтенсивне руйнування полімеру → Критичний люфт вузла.

Зростання осьового та радіального зазорів призводить до того, що плавність ковзання замінюється ударними навантаженнями під час кожного прискорення, гальмування чи наїзду на нерівність. Як наслідок, ударні імпульси прискорюють руйнування не лише полімерної матриці, а й можуть призвести до крихкого зламу металевого пальця або деформації кріпильного фланця корпусу в місцях його з'єднання з важелем підвіски MAN TGE.

Таким чином, розробка технології відновлення обов'язково повинна враховувати цей взаємозв'язок: полімерний матеріал, що впроваджується, має володіти високою демпфуючою здатністю (для нівелювання наслідків кутових ходів) та підвищеною адгезією до металу, а шорсткість відновленої сфери пальця має мінімізувати силу тертя при обертальних рухах навколо вертикальної осі.

2.3 Вибір та обґрунтування обладнання

Для реалізації запропонованого технологічного процесу відновлення кульової опори необхідно використовувати спеціалізоване обладнання, яке

забезпечує як точність виконання операцій, так і безпеку персоналу під час роботи. Кожен тип обладнання виконує свою функцію в межах технологічного циклу та безпосередньо впливає на якість кінцевого результату.

Основним силовим обладнанням є гідравлічний прес зусиллям приблизно 10–20 тонн, який застосовується для випресовування кульового пальця з корпусу, а також для встановлення нових елементів під час складання. Його ключова перевага полягає в можливості плавного та контрольованого прикладання зусилля, що дозволяє уникнути різких навантажень і, відповідно, зменшує ризик пошкодження як металевих, так і полімерних компонентів. Завдяки цьому забезпечується точність операцій і зберігається геометрична цілісність деталей.

Для етапу очищення використовується спеціальна ванна з закритою конструкцією та системою циркуляції мийного розчину або розчинника. Така система дозволяє рівномірно обробляти поверхні деталей і ефективно видаляти залишки мастила, продуктів зносу та забруднень. Оптимальна температура робочого середовища становить 50–60 °С, що забезпечує підвищену розчинну здатність і прискорює процес очищення без пошкодження матеріалів компонентів.

Важливим інструментом у процесі складання є динамометричний ключ, який забезпечує контрольований момент затягування різьбових з'єднань. Його використання є критично необхідним, оскільки як недостатній, так і надмірний крутний момент можуть призвести до порушення роботи кульової опори, зокрема до появи люфту або надмірного навантаження на елементи кріплення. Контроль зусилля дозволяє гарантувати стабільність з'єднання та відповідність технічним вимогам виробника.

Для контролю геометричних параметрів і якості відновлення застосовуються вимірювальні прилади, серед яких штангенциркуль, мікрометр та індикатор годинникового типу. Вони використовуються для перевірки діаметрів, зазорів і можливих відхилень форми елементів після обробки або зносу. Точність вимірювань у цьому випадку має принципове значення, оскільки навіть незначні відхилення можуть вплинути на роботу шарнірного

з'єднання та його ресурс.

Для демонтажу щільно посаджених або заклинених елементів застосовуються різноманітні знімачі, оправки та допоміжні інструменти, які дозволяють акуратно роз'єднувати деталі без пошкодження корпусу або робочих поверхонь. Використання таких пристроїв знижує ризик механічних дефектів і забезпечує збереження придатних до повторного використання компонентів.

Завершальним елементом технологічного оснащення є складальний стенд, який використовується для фіксації кульової опори під час складання та регулювання. Наявність можливості змінювати висоту та кут нахилу дозволяє забезпечити зручний доступ до вузла і підвищує точність виконання операцій. Це також зменшує фізичне навантаження на оператора та сприяє більш стабільній якості складання.

2.4 Розрахунок основних технологічних показників

Для оцінки ефективності розробленого процесу розраховуються основні технологічні показники.

Трудомісткість операцій на основі експериментального виконання окремих операцій розраховується час виконання кожної з них:

- Підготовка та закріплення 5 хвилин
- Розбирання 10 хвилин
- Очищення 20 хвилин
- Дефектація 15 хвилин
- Складання 20 хвилин
- Контроль якості 10 хвилин

Загальна трудомісткість процесу: приблизно 80 хвилин (1 година 20 хвилин) на одну опору.

Продуктивність один робітник за робочу зміну (8 годин) з урахуванням перерв може відновити близько 5-6 опор. При роботі двох робітників, розподіляючи операції, продуктивність може зрости до 8-10 опор на день.

Витрати матеріалів на одну опору витрачаються:

- Новий вкладиш – 50-80 грн
- Новий пильовик – 30-50 грн
- Новий гвинт (якщо необхідно) – 20-30 грн
- Мастило – 20-30 грн
- Розчинник – 10-15 грн

Загальні матеріальні витрати на одну опору – 130-205 грн.

Вартість робіт при розрахунку вартості робіт враховуються зарплата робітника, амортизація обладнання, витрати енергії, накладні витрати.

Середня вартість відновлення однієї опори становить 300-400 грн, що в 2 рази менше від вартості нової деталі (500-900 грн).

2.5 Дільниця для відновлення кульової опори

Технологічна концепція та призначення дільниці. Дільниця організовується як спеціалізований пост у структурі автосервісного підприємства або авторемонтного заводу.

Схема технологічного процесу на дільниці. Потік руху деталі на дільниці організується за лінійно-послідовною схемою для уникнення перехрещення чистих та забруднених компонентів:

Приймання/Очищення → Дефектація та інструментальний контроль → Технологічний процес регенерації → Фінішна обробка та збирання → Вихідний контроль якості

Специфікація технологічного обладнання та інструменту. Для забезпечення нормативного завантаження та високої якості робіт, дільниця комплектується таким табелем технологічного оснащення

Діагностично-демонтажне та мийне обладнання.

Мийка струминного типу (автоматична) для очищення корпусу опори MEYLE від дорожнього бруду, нагарів та залишків мастила.

Верстат слюсарний із захисним екраном та важкими лещатами (зусилля затиску не менше 20 кН).

Набір знімачів та гідравлічний випресовувальний ручний гідравлічний прес (зусилля 10–15 тонн) із комплектом спеціальних стаканів-оправок під геометрію фланця опори MEYLE 116 010 0043.

Спеціалізоване технологічне обладнання. Екструдер (установка) для безрозбірного відновлення шарових опор. Пневно- або електрогідравлічний апарат, що забезпечує розігрів полімеру (поліамід-6, або спеціалізований полімер) до температури 240–260 °С та його подачу в корпус під тиском до 40–60 °С.

Токарно-гвинторізний верстак. Необхідний для зрізання завальцьованої залізничної кришки корпусу (при розбірному методі) та проточування/полірування сфери пальця до дзеркального блиску ($R_a \leq 0.2$ мкм).

Муфельна піч для попереднього підігріву корпусу опори (до 80–100 °С) перед ін'єкцією полімеру, що запобігає виникненню внутрішніх напружень та усадці матеріалу.

Контрольно-вимірвальний інструмент

Стенд для перевірки моменту зрушення пальця (динамометричний ключ зі спеціальною насадкою-захватом).

Індикатор годинникового типу на магнітній стійці для контролю радіального та осевого люфту.

Мікрометри та цифрові штангенциркулі (ШЦ-I-125-0.05).

Вимоги до організації робочого місця та охорони праці. Оскільки технологічний процес пов'язаний із нагріванням полімерів, механічною обробкою та використанням високого тиску, до дільниці висуваються суворі вимоги з охорони праці та техніки безпеки.

Вентиляція робочого місця екструзійної установки обов'язково обладнується локальною витяжною вентиляцією (витяжною парасолею) для видалення парів і газів, що виділяються під час плавлення пластику.

Електробезпека усе обладнання (екструдер, верстаки, заземлювальні контури) повинно мати надійне заземлення з опором не більше 4 Ом.

Індивідуальний захист оператора дільниці забезпечується захисними термостійкими окулярами, рукавицями (для роботи з розігрітим полімером) та

спецюдягом щільного плетіння.

Розрахунок площі дільниці

Для розміщення вказаного обладнання, забезпечення нормативних проходів (не менше 0.8–1.0 м між верстатами) та зон накопичення деталей, мінімальна розрахункова площа дільниці становить.

$$F_{\text{дїл}} = \sum F_{\text{обл}} \cdot K_{\text{щ}} \quad (2.1)$$

де $\sum F_{\text{обл}}$ – сумарна площа безпосередньо обладнання за габаритами ($\approx 5\text{-}6\text{м}^2$);

$K_{\text{щ}}$ – коефіцієнт щільності розставлення обладнання (для ремонтних дільниць $K_{\text{щ}} \approx 3.5\text{-}4$).

Таким чином, рекомендована площа дільниці становить 20-24 м², що дозволяє інтегрувати її в будь-яке стандартне приміщення діючого автотранспортного підприємства.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проектування пристосування для розбирання-складання опори

Спеціальне пристосування для розбирання та складання кульової опори проектується з урахуванням вимог до безпечного утримання деталі, точності виконання операцій та мінімізації ризику механічних пошкоджень. Його основне призначення полягає в тому, щоб забезпечити стабільну фіксацію вузла в процесі демонтажу та монтажу компонентів, а також створити зручні умови доступу до робочих поверхонь при виконанні технологічних операцій.

Під час розробки конструкції пристосування враховуються такі основні вимоги, як надійне закріплення кульової опори у горизонтальному та вертикальному положеннях, що дозволяє адаптувати положення деталі до конкретної операції. Окрему увагу приділено забезпеченню безпечного демонтажу різьбового з'єднання без пошкодження головки гвинта, оскільки її деформація ускладнює подальше складання або повторне використання елемента. Важливо також забезпечити контрольоване та плавне витягування кульового пальця з корпусу, оскільки різкі зусилля можуть призвести до пошкодження посадкових поверхонь. Конструкція повинна бути універсальною, тобто дозволити регулювання під опори різних типорозмірів, а також залишатися простою в експлуатації та безпечною для оператора навіть при роботі з підвищеними навантаженнями.

Конструктивно пристосування складається з кількох основних елементів, кожен із яких виконує окрему функцію в загальному технологічному процесі. Основою є базова пластина, яка слугує опорною платформою всієї конструкції. Вона виготовляється зі сталі або чавуну товщиною приблизно 30–40 мм, що забезпечує достатню жорсткість і стійкість до деформацій під дією робочих навантажень. Масивність цієї деталі також сприяє зниженню вібрацій під час виконання операцій, що підвищує точність роботи.

Фіксація кульової опори здійснюється за допомогою регульованих

затискних елементів, що оснащені вставками з м'яких металів, таких як мідь або алюміній. Використання таких матеріалів дозволяє уникнути пошкодження поверхні корпусу під час затискання. Регулювання положення виконується за допомогою гвинтових механізмів, що забезпечують точне позиціонування деталі в робочій зоні та її надійну фіксацію під час усіх етапів обробки.

Для забезпечення зручності демонтажу різьбових елементів у конструкції передбачена напрямна штанга з фіксуючою шайбою, яка дозволяє вирівняти положення гвинта у вертикальній осі. Це забезпечує правильне прикладання зусилля при його відкручуванні та мінімізує ризик перекосу або пошкодження різьби. За необхідності можливе використання додаткового інструменту для контрольованого демонтажу.

Загальний вигляд пристосування для розбирання та складання кульової опори

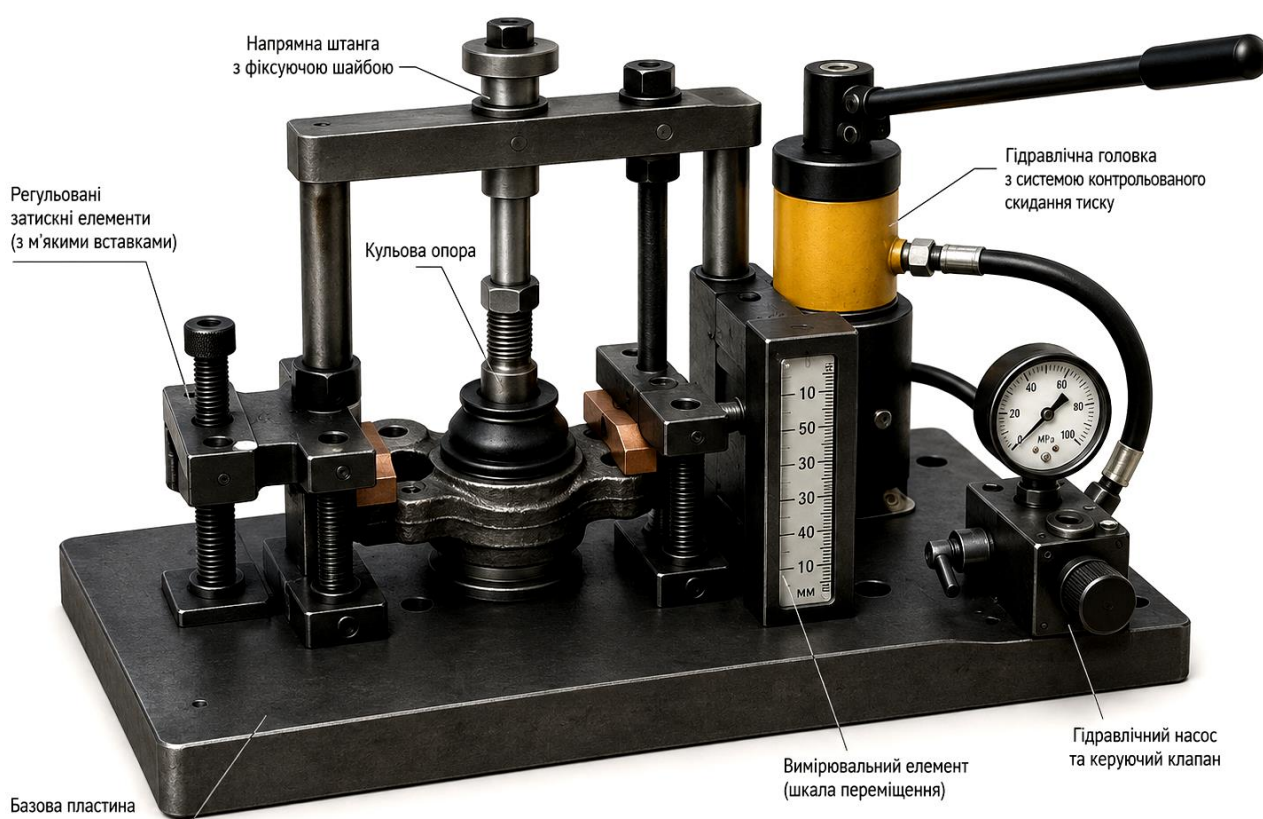


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд пристосування для розбирання-складання опори

Основним силовим вузлом пристосування є гідравлічна головка з системою контрольованого скидання тиску, яка забезпечує плавне витягування кульового пальця з корпусу. Завдяки поступовому прикладанню зусилля виключаються різкі навантаження, що дозволяє зберегти цілісність як металевих, так і полімерних елементів. Такий підхід особливо важливий для деталей, що вже частково зношені, оскільки знижує ризик додаткових пошкоджень під час розбирання.

Для контролю процесу витягування передбачено вимірювальний елемент у вигляді шкали або індикатора переміщення, який дозволяє оператору відстежувати положення кульового пальця в режимі реального часу. Це забезпечує точність виконання операції та дозволяє уникнути перевищення допустимих зусиль або ходу переміщення. У сукупності всі ці елементи формують функціональне та безпечне пристосування, яке підвищує ефективність процесів розбирання та складання кульових опор.

3.2 Розрахунок навантажень та напружень

При розбиранні опори виникають значні навантаження, які необхідно врахувати при проектуванні пристосування.

Силовий аналіз максимальне зусилля витягування пальця становить приблизно 30-50 кН, в залежності від розмірів опори та міцності прилягання вкладиша.

Крутний момент при видаленні гвинта розраховується з врахуванням його діаметру та типу різьби. Для М12 гвинта стандартний крутний момент становить 30-40 Нм.

Навантаження на базову пластину дорівнює сумі всіх сил, які прикладаються до опори. Розраховуючи пластину, використовується коефіцієнт запасу не менше 3.

Вибір матеріалів базова пластина: сталь 45 ($\sigma = 600$ МПа) Регулюючі гвинти: сталь 20 ($\sigma = 300$ МПа) Закріплюючі тиски: мідь Л63 (м'яка)/

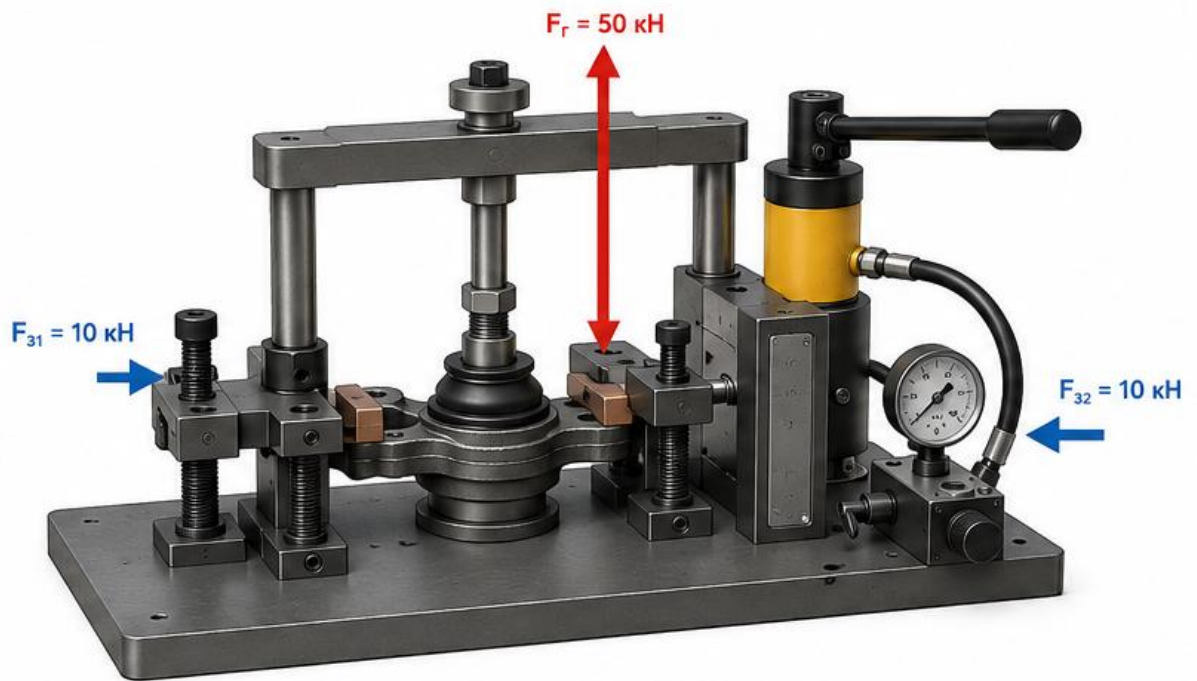


Рисунок 3.2 – Навантаження пристосування для розбирання та складання кульової опори

1. ОСНОВНІ НАВАНТАЖЕННЯ

F_r	– зусилля гідравлічного витягування	50 кН
F_{31}, F_{32}	– зусилля затискання (по одному затиску)	10 кН
G	– вага пристосування (орієнтовно)	0,6 кН

2. СХЕМА ПРИКЛАДАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ (ВИГЛЯД СПЕРЕДУ)

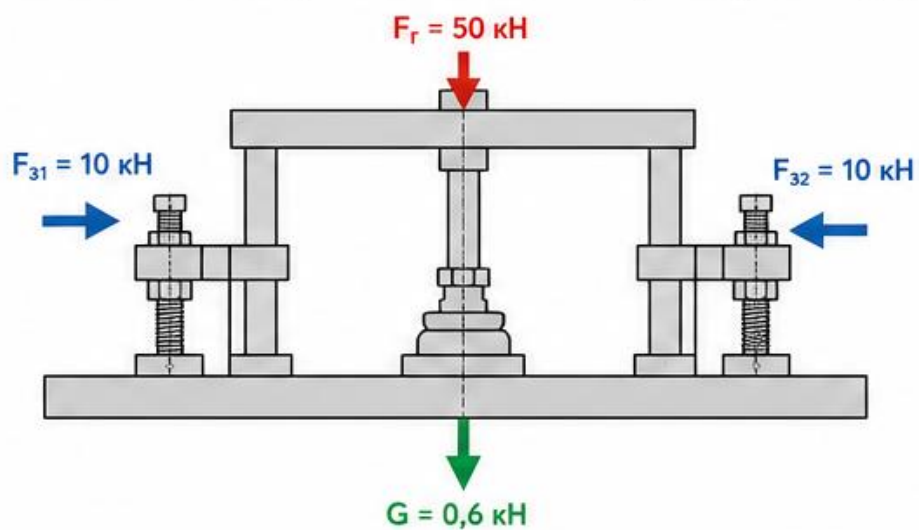
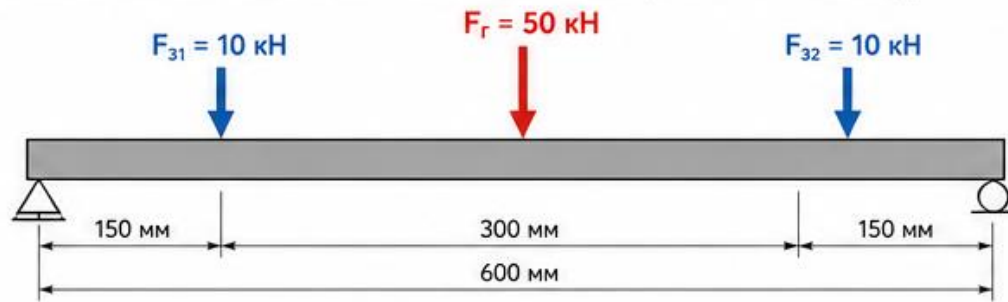
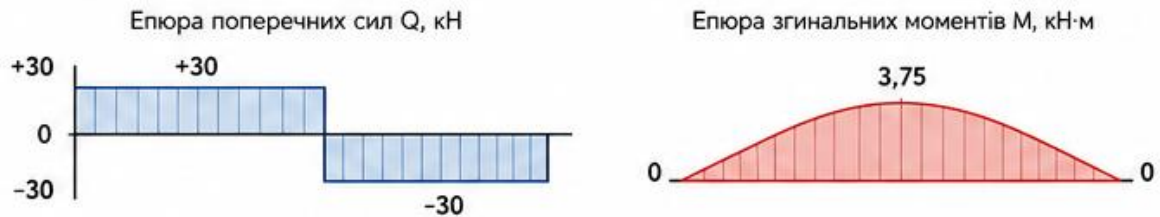


Рисунок 3.3 – Схема прикладання навантаження та сили які прикладаються

3. РОЗРАХУНКОВА СХЕМА БАЗОВОЇ ПЛАСТИНИ (БОКОВИЙ ВИГЛЯД)



4. ЕПЮРИ ВНУТРІШНІХ ЗУСИЛЬ У БАЗОВІЙ ПЛАСТИНІ



6. ПІДСУМКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ

Максимальне робоче зусилля гідравлічного вузла	$F_r = 50$ кН
Зусилля затискання опори (загальне)	$F_{зар} = 20$ кН (по 10 кН на кожен затиск)
Вага пристосування (орієнтовно)	$G = 0,6$ кН
Запас міцності прийнято $n = 2$	

Рисунок 3.4 – Навантаження та епюри прикладених навантажень

3.3 Визначення основних параметрів пристосування

Визначення геометричних і силових параметрів пристосування здійснюється з урахуванням габаритів кульових опор, умов їх обробки та вимог до точності виконання технологічних операцій. Основною метою цього етапу є забезпечення достатньої жорсткості конструкції, зручності роботи оператора та стабільності положення деталі під час розбирання і складання.

Габаритні розміри пристосування визначаються виходячи з необхідності розміщення опори, робочих органів і зони обслуговування інструментом. Довжина базової пластини приймається на рівні 600 мм, що забезпечує достатній простір для встановлення фіксуючих елементів та силового вузла. Ширина конструкції становить 400 мм і дозволяє створити стійку опорну площину, яка запобігає перекиданню пристосування під дією робочих навантажень. Висота закріплювального вузла передбачається в межах

150–200 мм із можливістю регулювання, що забезпечує адаптацію пристосування під різні типорозміри кульових опор і дозволяє оптимально позиціонувати деталь відносно робочої осі гідравлічного вузла.

Окремо визначається точність позиціонування опори в пристосуванні, яка є критично важливою для забезпечення правильного прикладання зусилля під час витягування кульового пальця. Допустиме відхилення становить ± 5 мм, що є достатнім для забезпечення співвісності робочих елементів і збереження паралельності осі витягування. Дотримання цієї точності дозволяє мінімізувати перекоси, які можуть призвести до нерівномірного навантаження на деталі та їхнього локального пошкодження.

Силкові параметри фіксації визначаються з урахуванням необхідності надійного утримання опори без її деформації або пошкодження поверхні корпусу. Зусилля затискання, яке створюється тисками з м'якими вставками, приймається в межах 10–20 кН. Такий діапазон є достатнім для запобігання ковзанню деталі під час виконання операцій, включаючи розбирання під дією гідравлічного зусилля, і водночас не перевищує допустимих напружень у матеріалі корпусу. Це забезпечує баланс між жорсткою фіксацією та безпечними умовами роботи, що є ключовим фактором при експлуатації пристосування.

3.4 Матеріали та технічні характеристики

Матеріали, що застосовуються для виготовлення пристосування, повинні забезпечувати достатню механічну міцність конструкції, стійкість до корозійних впливів, а також технологічність при виготовленні та подальшому обслуговуванні. Вибір матеріалів безпосередньо впливає на довговічність пристосування, його стабільність у роботі та точність виконання технологічних операцій.

Базова пластина виконує роль основного несучого елемента, тому для її виготовлення використовується вуглецева сталь марки 45. Цей матеріал характеризується достатньо високими показниками міцності та жорсткості, що

дозволяє витримувати значні експлуатаційні навантаження без виникнення пластичних деформацій. Додатковою перевагою є добра оброблюваність сталі 45, що спрощує процес механічної обробки, свердління та фрезерування, а також забезпечує точність виготовлення посадкових елементів. За потреби поверхня пластини може піддаватися антикорозійному захисту, що підвищує її довговічність в умовах підвищеної вологості.

Закріплюючі елементи, які безпосередньо контактують із корпусом кульової опори, виготовляються з матеріалів з низькою твердістю, таких як мідь, алюмінієві сплави або технічні полімери. Такий підхід дозволяє уникнути пошкодження або подряпин на поверхні деталі під час її фіксації. Використання м'яких матеріалів у зонах контакту також знижує локальні напруження і сприяє більш рівномірному розподілу зусилля затискання, що є важливим для збереження геометричної цілісності корпусу.

Різьбові елементи, зокрема гвинти та болти, застосовуються з класом міцності не нижче 8.8, що забезпечує достатній запас міцності при роботі під навантаженням. Такий рівень міцності дозволяє витримувати значні осьові та зсувні зусилля, які виникають у процесі фіксації та розбирання кульової опори, без ризику деформації або руйнування кріплення. Крім того, використання стандартних металів цього класу спрощує обслуговування та заміну елементів у разі зносу.

Гідравлічні компоненти пристосування, включаючи насос, циліндр та керуючі клапани, підбираються зі стандартного промислового або сервісного сегмента, розрахованого на роботу в умовах періодичного навантаження. Такі елементи забезпечують стабільну роботу системи створення зусилля та відповідають вимогам до експлуатації в майстернях і ремонтних дільницях. Використання уніфікованих гідравлічних вузлів також спрощує технічне обслуговування та підвищує ремонтпридатність пристосування в цілому.

Останні дослідження в галузі ремонтного обладнання показують, що все більшого поширення набуває використання комбінованих матеріалів у зонах контакту з деталями. Зокрема, замість традиційних м'яких металів дедалі частіше застосовуються полімерні композити з армувальними волокнами. Такі

матеріали характеризуються нижчим коефіцієнтом тертя та кращою адаптацією до мікронерівностей поверхні, що дозволяє зменшити ризик пошкодження деталей під час затискання. У практичних умовах це особливо важливо для вузлів із високою точністю посадок, де навіть мінімальні дефекти поверхні можуть впливати на подальшу працездатність шарніра.

Ще одним сучасним напрямом є застосування захисних покриттів із підвищеною зносостійкістю на елементах пристосування, які працюють під регулярним навантаженням. Для базових пластин, штоків та силових вузлів дедалі частіше використовуються нітридні або карбідні покриття, що суттєво знижують інтенсивність корозійних процесів і підвищують загальний ресурс обладнання. За даними практичних спостережень у ремонтній інженерії, такі технології дозволяють збільшити строк служби окремих елементів пристосувань у середньому у 1,5–2 рази, особливо в умовах підвищеної вологості або регулярного контакту з агресивними мийними середовищами.

3.5 Розрахунок пристосування на міцність

Розрахунок пристосування на міцність виконується з метою перевірки працездатності основних конструктивних елементів під дією експлуатаційних навантажень, які виникають під час демонтажу та складання кульової опори. Основними навантаженими елементами конструкції є базова пластина, затискні елементи та силовий вузол гідравлічного приводу.

Вихідні дані для розрахунку приймаються відповідно до конструктивного опису пристосування:

- матеріал базової пластини – сталь 45;
- межа текучості сталі 45: $\sigma_T \approx 355$ МПа;
- довжина базової пластини $L = 600$ мм;
- ширина пластини $B = 400$ мм;
- товщина пластини $h = 40$ мм;
- зусилля затискання $F_3 = 20$ кН;
- максимальне зусилля гідравлічного витягування кульового пальця

$F_{\Gamma} = 50 \text{ кН}$;

– коефіцієнт запасу міцності $n = 2$.

Максимальне навантаження на пристосування створюється гідравлічним вузлом у процесі витягування кульового пальця. Для перевірного розрахунку приймається граничне зусилля $F = 50 \text{ кН} = 50\,000 \text{ Н}$.

Розрахунок базової пластини

Базова пластина розглядається як жорстка опорна система, навантажена зосередженою силою в центральній зоні встановлення кульової опори. Для спрощеного розрахунку використовується схема балки на двох опорах.

Максимальний згинальний момент визначається за формулою

$$M = F \cdot l / 4 \quad (3.1)$$

Де F – прикладене навантаження, Н;

l – умовний проліт між зонами опори.

Для розрахунку приймається проліт:

$$l = 300 \text{ мм} = 0,3 \text{ м}.$$

Тоді

$$M = (50\,000 \cdot 0,3) / 4 = 3\,750 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент опору прямокутного перерізу пластини

$$W = (b \cdot h^2) / 6, \quad (3.2)$$

де b – ширина пластини;

h – товщина.

Підставляючи значення

$$W = (0,4 \cdot 0,04^2) / 6 = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Максимальні згинальні напруження

$$\sigma = M / W. \quad (3.3)$$

Отже

$$\sigma = 3\,750 / (1,07 \cdot 10^{-4}) \approx 35 \text{ МПа.}$$

Порівнюючи отримане значення з допустимими напруженнями для сталі 45

$$\sigma_{\text{доп}} = \sigma_{\text{Т}} / n = 355 / 2 \approx 178 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$\sigma \leq \sigma_{\text{доп}}, 35 \leq 178 \text{ МПа.} \quad (3.4)$$

Отже, базова пластина забезпечує необхідну міцність і працює зі значним запасом.

Розрахунок затискних елементів. Фіксація кульової опори здійснюється двома затискними елементами, тому зусилля між ними розподіляється рівномірно.

Навантаження на один затиск

$$F_1 = F_3 / 2 = 20 / 2 = 10 \text{ кН.}$$

Для затискних гвинтів приймається різьба М16 класу міцності.

Площа небезпечного перерізу болта

$$A \approx 157 \text{ мм}^2.$$

Напруження розтягу

$$\sigma_p = F / A. \quad (3.5)$$

Після підстановки

$$\sigma_p = 10\,000 / 157 \approx 63,7 \text{ МПа.}$$

Для болтів класу 8.8 допустиме напруження становить приблизно

$$\sigma_{\text{доп}} \approx 320 \text{ МПа.}$$

Перевірка умови міцності

$$63,7 \leq 320 \text{ МПа.}$$

Отже, різьбові елементи працюють у безпечному режимі та мають достатній запас міцності.

Перевірка гідравлічного штока

Гідравлічний шток сприймає осьове навантаження від силового вузла.

Для попереднього розрахунку приймається діаметр штока $d = 25 \text{ мм}$.

Площа поперечного перерізу

$$A = \pi d^2 / 4. \quad (3.6)$$

Після підстановки

$$A = 3,14 \cdot 25^2 / 4 \approx 491 \text{ мм}^2.$$

Осьове напруження

$$\sigma = F / A = 50\,000 / 491 \approx 102 \text{ МПа.}$$

Для конструкційної сталі допустиме напруження перевищує 170 МПа, тому

$$102 < 170 \text{ МПа.}$$

Отже, гідравлічний шток також забезпечує необхідну міцність.

За результатами проведеного розрахунку встановлено, що основні елементи пристосування – базова пластина, затискні гвинти та силовий шток – витримують робочі навантаження з достатнім запасом міцності. Найбільш навантаженим елементом є силовий вузол гідравлічного приводу, однак навіть у цьому випадку рівень напружень не перевищує допустимих значень. Це свідчить про працездатність і конструктивну надійність запропонованого пристосування для розбирання та складання кульових опор.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Техніка безпеки при роботі з пристосуванням

Безпека життєдіяльності та охорона праці є інтегрованими науково-практичними дисциплінами. Вони вивчають загальні закономірності виникнення небезпек, їхній вплив на організм людини та розробляють ефективні правові, організаційні й технічні заходи для збереження життя і здоров'я працівників.

Термін «безпека» у науковому дискурсі трактується як стан захищеності особи від ризиків зазнати шкоди. Термін «життєдіяльність» відображає процес існування та активності людини у взаємодії з навколишнім середовищем. Теоретичним підґрунтям дисципліни є аксіома про потенційну небезпеку будь-якого виробничого середовища.

У межах авторемонтних підприємств безпека життєдіяльності трансформується у предметну сферу охорони праці. Відповідно до Закону України «Про охорону праці», під цим поняттям розуміють систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження працездатності людини.

Правове регулювання у цій сфері в Україні базується на Конституції України та Кодексі законів про працю. Також воно спирається на базовий Закон України «Про охорону праці» та Правила охорони праці на автомобільному транспорті. Основним принципом є пріоритет життя і здоров'я працівників над результатами виробництва.

Наукове обґрунтування безпеки вимагає чіткої ідентифікації небезпечних і шкідливих виробничих факторів відповідно до ДСТУ ISO 45001:2019. Небезпечним фактором вважається чинник, що призводить до травми або раптового погіршення здоров'я. Шкідливим фактором є чинник, дія якого викликає професійні захворювання.

На дільницях регенерації деталей підвіски комерційного транспорту,

зокрема автомобілів MAN TGE, на персонал діє комплекс таких факторів. До них належать рухомі частини машин, елементи обладнання високого тиску, токсичні пари хімічних речовин при митті деталей та психофізіологічні навантаження.

Управління безпекою праці реалізується шляхом координації організаційних рішень та впровадження засобів колективного та індивідуального захисту. Організаційні заходи передбачають проведення інструктажів відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

Технічні заходи спрямовані на застосування засобів колективного захисту. Сюди відносяться захисні огороження, блокувальні пристрої, системи місцевої витяжної вентиляції та заземлення електроустановок згідно з ДСТУ EN 60204-1:2019. Це дозволяє знизити рівень виробничого ризику до мінімально допустимого.

Техніка безпеки при роботі з пристосуванням для розбирально-складальних операцій кульової опори.

Виконання операцій під час відновлення кульової опори MEYLE 116 010 0043 із використанням спеціалізованого пристосування супроводжується генеруванням значних механічних зусиль. Джерелом небезпеки є зусилля затискання гвинтів (20 кН) та максимальний тиск гідравлічного циліндра, який створює осьове навантаження на штоку до 50 кН.

Робота з таким обладнанням підпадає під дію Переліку робіт з підвищеною небезпекою. Це вимагає від слюсаря бездоганного дотримання інженерно-технічних інструкцій та нормативних регламентів. До самостійного виконання робіт допускаються особи, які досягли повноліття та пройшли попередній медичний огляд.

Працівник повинен отримати теоретичну підготовку та скласти заліки з перевірки знань правил охорони праці з отриманням посвідчення. Робоче місце необхідно утримувати в чистоті. Рівень штучної освітленості на поверхні верстака має відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 для робіт високої точності.

Перед початком технологічного процесу оператор приводить у належний стан засоби індивідуального захисту згідно з ДСТУ EN ISO 13688:2016. Слюсарний костюм має бути застебнутий, обшлага рукавів щільно пригнані до кистей, а волосся прибрано під головний убір.

Для захисту ніг від випадкового падіння масивних деталей обов'язковим є використання спецвзуття з металевим відповідно до ДСТУ EN ISO 20345:2016. Органи зору захищають закритими полікарбонатними окулярами, а шкіру рук – захисними рукавицями, стійкими до нафтопродуктів.

Після одягання ЗІЗ здійснюється ретельна інспекція технічного стану самого пристосування. Перевіряється відсутність тріщин на Сталі 45 базової пластини, профіль нарізки затискних гвинтів М16, а також герметичність ущільнень гідроциліндра на предмет витoku робочої рідини.

Етап фіксації кульової опори в робочій зоні пристосування вимагає високої точності. Корпус опори встановлюється у посадочні гнізда у строго вертикальному напрямку без перекосів. Після цього проводиться його рівномірне затискання двома гвинтами класу міцності.

Відхилення від співвісності створює небезпеку кутового зміщення деталі під дією преса. Це може призвести до раптового руйнування кріплення та аварійного викиду компонентів. При роботі з ручним динамометричним ключем вектор прикладання сили має бути суворо перпендикулярним до осі обертання.

Використання будь-яких непередбачених конструкцією подовжувачів чи важелів для збільшення крутного моменту категорично забороняється. Це може спричинити зрізання нарізки та травмування рук оператора через зрив інструменту.

Застосування гідравлічного вузла для витягування пальця супроводжується акумуляцією значної потенційної енергії пружної деформації. Нагнітання тиску в робочу порожнину циліндра має здійснюватися плавно та монотонно, без різких ударних імпульсів.

Оператору суворо забороняється тримати руки безпосередньо в зоні ходу штока та поправляти положення деталей під робочим тиском. Також

заборонено перебувати на лінії дії вектора випресовування навпроти торця гідроциліндра.

Якщо в процесі демонтажу палець заклинює у вкладиші, прикладання ударних навантажень за допомогою молотка чи кувалди по пристосуванню заборонено. Крихкі деформації металу можуть ініціювати руйнування зварних або нарізних з'єднань установки. У такому випадку тиск скидається до нуля.

Після завершення операцій оператор виконує комплекс заключних заходів. Робочий тиск у гідросистемі плавно знижується до атмосферного шляхом відкриття перепускного клапана, а поршень із силовим штоком зміщується у крайнє нижнє положення.

Відновлена кульова опора вилучається із затискних губок пристосування і переміщується у технологічну тару. Поверхні базової пластини, пази та різьбові канали ретельно очищаються від залишків мастила й дрібної металевої стружки за допомогою щітки-кмітливої та безворсових серветок.

Застосовувати для очищення відкритий струмінь стисненого повітря без захисного екрана суворо заборонено через високу ймовірність травмування очей і шкіри відлітаючими частинками. Усі використані слюсарні інструменти очищаються і укладаються в інструментальні тумби верстака.

Важливою складовою є готовність оператора до правильних дій в аварійних ситуаціях згідно з вимогами Кодексу цивільного захисту України. При виявленні тріщин на базовій пластині, зриві нарізки гвинтів або розгерметизації шлангів високого тиску технологічний процес повинен бути негайно зупинений.

Оператор зобов'язаний повністю скинути тиск у системі, відключити привід гідронасоса від електромережі та повідомити про подію керівника дільниці. При травмуванні персоналу робота повністю припиняється, а потерпілому негайно надається перша долікарська допомога з використанням медичної аптечки.

4.2 Небезпечні та шкідливі фактори

При роботі з кульовими опорами виникають різні небезпечні та шкідливі фактори.

Механічні небезпеки рухомі деталі гідравлічного преса можуть затиснути руки або пальці; Гострі кромки опори та компонентів можуть порізати руки; Гвинти під натягом можуть рватися, коли відвертаються; Палець витягується з великою силою і при раптовому видаленні може впасти та травмувати ноги

Захист від механічних небезпек всі рухомі частини преса повинні мати захисні кожухи. Робітник не повинен піддавати руки біля закривального механізму. При роботі з гвинтами слід використовувати динамометричний ключ, щоб уникнути раптового послаблення.

Хімічні небезпеки розчинники можуть викликати подразнення шкіри та очей; Випари розчинників вдихаються та можуть викликати головний біль та запаморочення; Мастило може викликати алергічні реакції; Непровідна сталь та позначення потребують спеціального виведення

Захист від хімічних небезпек робота з розчинниками повинна проводитися у добре провітрюваному приміщенні або під витяжною вентиляцією. Робітники повинні носити захисні маски та рукавиці. При потраплянні на шкіру розчинник слід негайно змити великою кількістю води.

Захист від фізичних навантажень робоче місце повинне бути організовано так, щоб мінімізувати вигинання тулуба. При необхідності використовуються механічні підйомники.

4.3 Заходи з охорони навколишнього середовища

При відновленні кульових опор виникають відходи, які необхідно утилізувати з дотриманням екологічних норм.

Основні джерела забруднення Старе мастило при видаленні з опори, Розчинники, використовувані при очищенні, Изношені вкладиші та пильовики, Куски абразивних матеріалів при полірування

Заходи по охоронь Старе мастило повинне збиратися в окремий контейнер та передаватися спеціалізованому підприємству для переробки, Використаний розчинник повинен фільтруватися та повторно використовуватися, або утилізуватися спеціальними організаціями, Вдпрацьовані вкладиші та пильовики можуть укладатися на сміттєземлище, якщо вони не містять токсичних речовин, Абразивні матеріали та інші відходи мають бути спалені або закопані на ліцензійних полігонах

Екологічні стандарти: Всі операції повинні проводитися з дотриманням Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища" та норм цих оних стандартів.

4.4 Розрахунок освітлення робочих місць

Розрахунок захисного заземлення робочих місць

Захисне заземлення є одним із головних технічних засобів колективного захисту, що забезпечує електробезпеку персоналу при роботі з обладнанням дільниці регенерації кульових опор. Відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електроустановки низької напруги. Заземлювальні пристрої», захисним заземленням називають навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмопровідних частин електроустановки, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. На проектуваній дільниці заземленню підлягають корпуси токарного верстата, силової слюсарної установки, електричного екструдера (термопреса) та пульта керування гідравлічним насосом.

Електропостачання дільниці здійснюється від трифазної чотирипровідної мережі змінного струму з глухозаземленою нейтраллю напругою 380 В і частотою 50 Гц. Для таких умов, згідно з Правилами улаштування електроустановок, опір заземлювального пристрою у будь-яку пору року не повинен перевищувати $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$. Метою даного інженерного розрахунку є визначення геометричних параметрів та кількості вертикальних заземлювачів штучного контуру, які забезпечать виконання цієї нормативної умови.

Для облаштування контуру заземлення приймаються вертикальні стрижні з круглої сталі діаметром $d = 12$ мм і довжиною $l = 2.5$ м. Верхні кінці стрижнів занурюються в ґрунт на глибину $h_0 = 0.7$ м від поверхні землі, де вони з'єднуються горизонтальною сталевією смугою перерізом 40×4 мм. Як розрахунковий тип ґрунту на майданчику авторемонтного підприємства приймається суглинок, що має базовий питомий електричний опір $\rho = 100$ Ом · м.

Для врахування промерзання та висихання ґрунту впродовж року вводиться кліматичний коефіцієнт підвищення опору, який для другої кліматичної зони України становить $\psi = 1.3$. Таким чином, розрахунковий питомий опір ґрунту визначається за формулою

$$\rho_{\text{розр}} = \rho \cdot \psi = 100 \cdot 1.3 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.1)$$

Опір розтіканню струму одного вертикального заземлювача ковзного типу, розташованого нижче рівня поверхні землі, розраховується за класичною триботехнічною та електродинамічною залежністю

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_1 + l}{4 \cdot h_1 - l} \right) \quad (4.2)$$

У цій формулі параметр h_1 відображає відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача і обчислюється як сума глибини закладання та половини довжини стрижня

$$h_1 = h_0 + \frac{l}{2} = 0.7 + \frac{2.5}{2} = 1.95 \text{ м} \quad (4.3)$$

Підставляючи геометричні та фізичні параметри у вихідне рівняння, отримуємо чисельне значення опору одиничного вертикального заземлювача

$$R_{\text{в}} = \frac{130}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.012} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1.95 + 2.5}{4 \cdot 1.95 - 2.5} \right) \approx 47.2 \text{ Ом} \quad (4.4)$$

Оскільки штучний заземлювальний контур проектується у вигляді ряду або замкнутого контуру вздовж стін ділянки, окремі стрижні взаємно впливають один на одного, обмежуючи розтікання струму. Цей ефект враховується коефіцієнтом використання вертикальних заземлювачів, який при орієнтовній кількості стрижнів та відношенні відстані між ними до їхньої довжини як два до одного приймається на рівні $\eta_{\text{в}} = 0.75$.

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів без урахування провідної здатності з'єднувальної горизонтальної смуги визначається наступним математичним співвідношенням

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{доп}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{47.2}{4 \cdot 0.75} \approx 15.7 \quad (4.5)$$

Отримане значення округлюється у більший бік до найближчого цілого числа, що дає конструктивну кількість вертикальних заземлювачів $n_{\text{в}} = 16$ шт. Стрижні розміщуються по периметру приміщення ділянки на відстані 5 м один від одного, утворюючи загальну довжину горизонтальної з'єднувальної смуги $L = 80$ м.

На наступному етапі розрахунку визначається власний опір розтіканню струму горизонтальної смуги зв'язку за формулою

$$R_{\text{с}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot h_0} \quad (4.6)$$

де $b = 0.04$ м є шириною сталеві смуги. Підстановка чисельних значень дозволяє отримати опір горизонтального провідника

$$R_c = \frac{130}{2 \cdot 3.14 \cdot 80} \cdot \ln \frac{2 \cdot 80^2}{0.04 \cdot 0.7} \approx 3.36 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

Для врахування взаємного екранування смуги та вертикальних стрижнів вводиться коефіцієнт використання горизонтального заземлювача, який для даної конфігурації становить $\eta_c = 0.40$. Остаточний уточнений опір всього запроєктованого заземлювального пристрою розраховується за формулою паралельного з'єднання елементів

$$R_{\text{конт}} = \frac{R_B \cdot R_c}{R_B \cdot \eta_c + R_c \cdot n_B \cdot \eta_B} = \frac{47.2 \cdot 3.36}{47.2 \cdot 0.40 + 3.36 \cdot 16 \cdot 0.75} \approx 2.68 \quad (4.8)$$

Порівнюючи фінальний розрахунковий опір контуру із нормативним допуском ПУЕ, отримуємо очевидне виконання критерію безпеки, оскільки $2.68 \text{ Ом} < 4.0 \text{ Ом}$. Це свідчить про те, що розроблена система захисного заземлення гарантує ефективне зниження потенціалу на металевих корпусах обладнання до безпечного рівня та забезпечує миттєве спрацьовування апаратів захисного вимкнення у разі пробією ізоляції на будь-якому робочому місці ділянки

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено повний технологічний процес відновлення кульової опори MEYLE 1160100043, який включає 12 послідовних операцій від дефектації до контролю якості.

Запропоноване обладнання та пристосування дозволяють проводити ремонт з мінімальним ризиком пошкодження деталей при доступній вартості.

Розраховані технологічні показники демонструють, що вартість відновлення опори становить 300-500 грн, що в 3-5 разів менше від вартості нової деталі.

Розроблена методика контролю якості забезпечує надійність готової опори та її відповідність технічним вимогам.

Реалізовані заходи охорони праці та охорони навколишнього середовища відповідають українському законодавству та європейським стандартам.

Запропонований процес може бути впроваджен на СТО, в цехах автомобільних парків та у спеціалізованих ремонтних майстернях.

Впровадження цієї технології дозволить: знизити вартість ремонту, підвищити якість обслуговування та створити нові робочі місця.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. ДСТУ 3649:2010 Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролю. — К.: Держспоживстандарт України, 2011. — 34 с.
3. ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Наказ № 31 від 25.01.1995 року.
4. Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Тесля В. О. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». Тернопіль : ТНТУ, 2025. 118 с.
5. Левкович М.Г., Пиндус Ю.І., Тесля В.О., Босюк П.В. Конспект лекцій з дисципліни «Автомобілі. аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів» для студентів всіх форм навчання за напрямком підготовки «Автомобільний транспорт» / М.Г. Левкович, Ю.І. Пиндус, В.О. Тесля, П.В. Босюк Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2016. – 242 с.
6. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
7. Тесля В.О., Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. Конспект лекцій з дисципліни “Діагностика автомобілів” для студентів спеціальності 274 “Автомобільний транспорт” усіх форм навчання / Тесля В.О., Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 296 с.

8. Тесля В.О., Слободян Л.М., Сіправська М.Д. Методичні вказівки для лабораторних робіт з дисципліни “Діагностика автомобілів” для студентів спеціальності 274 “Автомобільний транспорт” усіх форм навчання / Тесля В.О., Слободян Л.М., Сіправська М.Д. – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 140 с.
9. Аулін В.В., Ляшук О.Л., Гупка А.Б., Тесля В.О. Масштабний фактор при діагностуванні трибологічної надійності транспортних засобів. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року. Вінниця: ВНТУ, 2023. – 396 с. ISBN 978-966-641-950-0
10. Пулька Ч.В., Кузнецов В.Д., Д.В. Степанов, В.С. Сенчишин Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Наплавлення та напилення» / Ч.В. Пулька, В.Д. Кузнецов, Д.В. Степанов, В.С. Сенчишин. – Тернопіль.: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. – 59 с.
11. Способи підвищення показників дизелів тракторів і автомобілів в умовах рядової експлуатації / А. М. Пугач, В. В. Аулін, В. І. Мельниченко [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 8(39). - Ч. 2. - С. 125-133.
12. Gupka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67–73. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-67-73>
13. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С. Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.

14. I. Hevko. New Technologies for Enhancing Road Traffic Safety at Pedestrian Crossings and Signalized Intersections / I. Hevko, V. Teslya, M. Spravaska, B. Hevko, Roman Khoroshun // Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, 2025. Issue 11(42), Part II — Kropyvnytskyi, 2025. — Pp. 268–277. — (Automobile transport).
15. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.