

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ І БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “**Удосконалення підвіски автомобільного причепа
зменшеної металосмності**”

Виконав: студент ІV курсу групи Ат-42сп
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Андрій ІВАСЬКЕВИЧ

(ім'я та прізвище)

Керівник: Степан ХІМКА

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

УДК 629.113.066.

Іваськевич Андрій Юрійович. Удосконалення підвіски автомобільного причепа зменшеної металоємності: кваліфікаційна робота. Дубляни: ЛНУВМБ, 2025. 56 с.

Табл. 8; рис. 18; бібліогр. джерел 20.

В роботі виконано удосконалення конструкції підвіски, визначено початкові дані для розробки торсіонної підвіски, проведено її розрахунок і описано конструкцію модернізованої системи.

Оснащення причепа торсіонною підвіскою дозволяє знизити висоту завантаження, опустити центр мас причепа, покращити його стійкість на дорозі під час руху на високих швидкостях, а також зменшити металоємність і підвищити надійність конструкції.

У результаті роботи розроблено конструкцію торсіонної підвіски для причепа, яка за пружними характеристиками повністю відповідає пружинній підвісці аналогічного причепа.

Економічний розрахунок показав, що впровадження торсіонної підвіски дозволить знизити вартість матеріалів на 726,20 гривень, що в 1,7 раза менше у порівнянні з базовим варіантом.

Ключові слова: торсіонна підвіска, автомобільний причіп, зменшена металоємність, модернізація, економічна ефективність, пружні характеристики

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	7
1	АНАЛІЗ СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ ЛЕГКОВИХ ПРИЧЕПІ.....	8
	1.1 Призначення та класифікація легкових причепів.....	8
	1.2 Особливості використання причепів вантажопідйомністю до 500 кг.....	11
	1.3 Обґрунтування доцільності вдосконалення конструкції підвіски автомобільного причепа зменшеної металоємності.....	14
2	ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВІСКИ. ПРОПОЗИЦІЇ УДОСКОНАЛЕННЯ	17
	2.1 Вибір причепа для модернізації підвіски	20
	2.2 Оцінка ефективності та конструкції різних типів підвісок причепів для легкових автомобілів.....	21
	2.3 Аналіз конструкції та елементів пружинної підвіски причепа ПГМФ-8232.....	26
	2.4 Торсіонна підвіска у легкових причепах: ефективність, надійність, технологічність.....	29
3	УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ПІДВІСКИ	38
	3.1 Початкові дані для розробки торсіонної підвіски	38
	3.2 Конструкція та розрахунок набірною торсіону для торсіонної підвіски.....	37
	3.3 Опис конструкції модернізованої торсійної підвіски.....	43

4	ОХОРОНА ПРАЦІ	46
4.1	Загальні вимоги безпеки при роботі з підвісками легкових автомобілів.....	46
4.2	Вимоги безпеки при роботі з причепами легкових автомобілів.....	47
5	ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБКИ ПІДВІСКИ ПРИЧЕПУ	51
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	53
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	55

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку автомобільного транспорту важливе значення має підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів, зокрема причепів. Автомобільні причепа відіграють ключову роль у перевезенні вантажів, забезпечуючи гнучкість логістичних операцій та зменшення навантаження на самохідні транспортні засоби. Особливе значення має зниження металоємності конструкцій, що дозволяє не лише зменшити масу причепа, а й підвищити його паливну економічність, зменшити собівартість виробництва та поліпшити екологічні показники.

Одним із важливих елементів конструкції автомобільного причепа є підвіска, яка забезпечує передачу навантажень від рами до коліс, амортизацію дорожніх нерівностей та стійкість руху. Традиційні підвіски, як правило, мають значну масу, що негативно впливає на динамічні характеристики причепа та зменшує корисне навантаження. У зв'язку з цим актуальною є задача удосконалення конструкції підвіски з урахуванням зменшення її металоємності при збереженні або покращенні технічних характеристик.

Метою даної роботи є розробка вдосконаленої конструкції підвіски автомобільного причепа зменшеної металоємності, яка забезпечуватиме надійну роботу в умовах експлуатаційних навантажень та відповідатиме сучасним вимогам до безпеки, ресурсу та технологічності.

Для досягнення поставленої мети в роботі виконано аналіз існуючих типів підвісок, обґрунтовано вибір конструктивних змін, проведено технічні розрахунки, а також розроблено удосконалену конструкцію з оцінкою її переваг. Окрема увага приділена питанням охорони праці та економічної доцільності впровадження запропонованих рішень.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ВИКОРИСТАННЯ ЛЕГКОВИХ ПРИЧЕПІВ

1.1 Призначення та класифікація легкових причепів

Автомобільні причепа широко застосовуються у побутовій, комерційній та спеціалізованій сферах завдяки своїй універсальності та здатності значно розширити вантажні можливості легкових автомобілів. Основне їхнє призначення полягає у забезпеченні перевезення вантажів, яке за своїми габаритами чи масою перевищує можливості звичайного багажника легкового авто. Причепа дозволяють ефективно транспортувати різноманітні матеріали — від будівельних та господарських вантажів до спеціалізованої техніки й транспортних засобів.

Залежно від функціонального призначення автомобільні причепа поділяються на такі основні категорії (табл. 1.1):

Універсальні вантажні причепа – призначені для перевезення широкого спектра вантажів, зокрема побутових речей, будівельних матеріалів, інструментів, сільськогосподарської продукції. Вони мають просту, переважно відкриту платформу та можуть оснащуватися тентом або бортами.

Причепа спеціального призначення – сконструйовані для конкретних задач:

Кемпінгові причепа (житлові) – мають повноцінне обладнання для відпочинку: спальне місце, кухню, санвузол, системи автономного живлення.

Причепа для транспортування техніки – платформи або лафети для перевезення легкових авто, мотоциклів, квадроциклів, снігоходів.

Причепа для водного транспорту – призначені для перевезення човнів, катерів, гідроциклів.

Ізотермічні та холодильні причепа – використовуються для перевезення вантажів з температурним режимом (молочна продукція, медикаменти тощо).

Причепа з механізмами фіксації – забезпечують безпечне кріплення специфічних вантажів.

Таблиця 1.1 – Класифікація причепів для легкових автомобілів

Критерій класифікації	Категорія/Тип причепа	Характеристика
За призначенням	Універсальні вантажні	Для перевезення будівельних, побутових вантажів
	Спеціального призначення	Для конкретних цілей: кемпінг, перевезення техніки, човнів тощо
За вантажопідйомністю	Легкі (до 750 кг)	Можна буксирувати з категорією «В», без обмежень
	Середні (750–1500 кг)	Потрібне дотримання умов щодо маси автопоїзда
	Важкі (понад 1500 кг)	Необхідна категорія «ВЕ»
За типом підвіски	Ресорна	Простота, надійність, висока вантажопідйомність
	Торсіонна	Краща плавність ходу, компактність
	Пневматична	Використовується на спеціалізованих або промислових причепах
За кількістю осей	Одноосний	Простота конструкції, підвищена маневровість
	Двовісний	Вища вантажопідйомність, рівномірний розподіл навантаження
За наявністю гальм	Безгальмівні	Поширені серед легких причепів
	З інерційними гальмами (накатного типу)	Застосовуються в середньому та важкому класі вантажності
За конструкцією кузова	Платформні	Відкриті або з тентом
	Закриті	Фургонного типу або з теплоізоляцією
	Трансформовані	Можливість зміни геометрії або оснащення залежно від потреб

Залежно від вантажопідйомності, причепа умовно поділяються на такі групи:

Легкі причепа – з дозволеною максимальною масою до 750 кг. Їх можна експлуатувати з посвідченням водія категорії «В» без додаткових обмежень.

Причепи середньої вантажопідйомності – масою понад 750 кг, але з дотриманням вимог: загальна маса автопоїзда не повинна перевищувати 3500 кг, а маса причепа – не більша за споряджену масу автомобіля. За таких умов також дозволено керування з категорією «В».

Важкі причепи та автопоїзди – коли маса причепа перевищує вищевказані обмеження або сумарна маса автопоїзда більша за 3500 кг, необхідна категорія «ВЕ».

Технічна можливість експлуатації причепа залежить також від конструкції буксирного вузла автомобіля. Фаркоп можна встановити майже на будь-який автомобіль, однак він повинен мати відповідний сертифікат, а автомобіль — бути технічно придатним до буксирування згідно з паспортом транспортного засобу.

Сучасні причепи можуть бути одно- або двовісними, з ресорною або торсіонною підвіскою, гальмівною або безгальмівною системою. Підвищені вимоги щодо безпеки, зносостійкості та зменшення експлуатаційних витрат актуалізують потребу в удосконаленні конструкцій підвісок, зокрема в напрямку зменшення їхньої маси, покращення технологічності виробництва, а також адаптації до дорожніх умов України.

На українському ринку представлені численні виробники причепів, серед яких:

«Купава» (м. Бровари) – виробник вантажних, кемпінгових та спеціалізованих причепів;

«Подільська кузня» – підприємство, яке випускає широкий модельний ряд причепів з різною вантажопідйомністю;

«Амтел-Вектор» – виробник причепів з урахуванням індивідуальних замовлень;

«АвтоКраЗ» – окрім важких причепів, випускає малотоннажні причепи цивільного призначення.

Питання оптимізації конструкції легкових причепів, зокрема підвісок, є особливо актуальним у контексті підвищення ресурсу, надійності, зменшення металоємності та забезпечення комфортних умов руху при експлуатації на дорогах різного типу.

1.2 Особливості використання причепів вантажопідйомністю до 500 кг

Причепи з вантажопідйомністю до 500 кг є компактними, легкими та доступними транспортними засобами, що широко застосовуються у побутових, фермерських та комерційних умовах для перевезення невеликих вантажів. Вони мають низку переваг, завдяки яким займають значну частку на ринку причіпної техніки.

Переваги причепів малої вантажопідйомності:

Компактність та зручне зберігання. Завдяки малим габаритам, такі причепи легко розмістити в гаражі, на прибудинковій території або стоянці. Деякі моделі мають складане або знімне дишло, що додатково полегшує зберігання.

Низька маса та економічність. Мала споряджена маса зменшує навантаження на автомобіль, сприяє зниженню витрат пального та покращує маневреність при буксируванні.

Універсальність у застосуванні. Ці причепи можуть експлуатуватись з більшістю легкових автомобілів, навіть з двигунами малої потужності. Вони не вимагають наявності гальмівної системи або підвищених вимог до категорії водійських прав.

Доступність. Простота конструкції та вітчизняне виробництво забезпечують відносно низьку вартість. Це робить такі причепи привабливими для масового споживача.

Легкість обслуговування. У більшості моделей використовуються стандартні вузли та комплектуючі (наприклад, маточини ВАЗ, світлотехніка УАЗ), що спрощує ремонт та технічне обслуговування.

Недоліки причепів малої вантажопідйомності:

Обмежена місткість. Через невеликі габарити та допустиме навантаження такі причепа не призначені для транспортування важкого або габаритного вантажу. Це зменшує універсальність їх використання в професійних або будівельних цілях.

Слабка підвіска. Бюджетні варіанти часто оснащуються недорогими ресорами або гуможгутувими елементами з низьким коефіцієнтом демпфування. Це може призводити до підвищеного зношування або поганої стабільності руху на нерівностях.

Малі колеса. Деякі моделі комплектуються 10-дюймовими колесами, які мають обмежену прохідність, підвищену чутливість до ям та нерівностей, знижений ресурс і гірше охолодження підшипників.

Обмеження по швидкості та завантаженню. Конструкція таких причепів передбачає обмежену швидкість буксирування (до 80 км/год) та чітке дотримання вантажопідйомності. Перевантаження може спричинити пошкодження рами, осей або гальмівного вузла.

Приклади поширених моделей представленні у таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Приклади поширених моделей:

Модель причепа	Вантажопідйомність, кг	Вага споряджена, кг	Тип підвіски	Особливості конструкції	Ціна (грн)
ЛЮБАРТ V0-2113 (рис. 1.1)	720	180	Ресорна	Розбірна рама, V-подібне дишло, знімні борти, оцинковка, AL-KO ступиці	44500
Дніпро – 150 (рис. 1.2)	~350	~150	Ресорна (AL-KO)	Платформа 1500×1300 мм, порошкове фарбування, маточини ВАЗ-2108	17400
ПГМФ-8232 (рис. 1.3)	~400	~160	Пружинна	Вузькі колеса, мотоциклетна світлотехніка, знімне дишло	~20000
ВМЗ – 8291 (Молот)	~500	~180	Пружинна	Аналог ПГМФ, тільки задній борт відкривається	~21500



Рисунок 1.1 - Причіп легкового автомобіля ЛЮБАРТ V0-2113
оцинкованими бортами



Рисунок 1.2 - Причіп для легкового автомобіля Дніпро – 150.



Рисунок 1.3 - Причіп для легкового автомобіля "
ПГМФ -8232".

Рекомендації щодо вибору:

Під час вибору причепа вантажопідйомністю до 500 кг слід враховувати такі чинники:

Призначення. Для регулярних перевезень довгих чи об'ємних вантажів краще обирати модель з відкритими бортами та оцинкованим кузовом.

Підвіска. Для їзди по нерівних дорогах доцільно використовувати ресорну або гуможгутову підвіску з демпфуванням.

Маточини та вісь. Перевагу варто віддавати моделям зі стандартними маточинами (ВАЗ, AL-KO), що забезпечує надійність і ремонтпридатність.

Оснащення. Наявність запасного колеса, пластикових крил, якісної світлотехніки та електрокабелю покращують загальну експлуатаційну якість.

Причепи малої вантажопідйомності мають чітко окреслену нішу застосування — це побутові перевезення, дачні поїздки, транспортування будматеріалів або господарського інвентаря. За умови правильного вибору конструкції, дотримання технічних рекомендацій та регламенту експлуатації вони можуть стати надійним і довговічним помічником для приватного користувача.

1.3 Обґрунтування доцільності вдосконалення конструкції підвіски автомобільного причепа зменшеної металосмістності

Підвіска є одним із ключових елементів конструкції автомобільного причепа, що безпосередньо впливає на плавність ходу, стійкість під час руху, рівномірність навантаження на шасі та збереження вантажу. Від її типу та технічного стану залежить не лише комфорт перевезення, але й загальна безпека експлуатації автопоїзда.

У практиці виготовлення легкових причепів часто використовуються типові елементи підвісок, аналогічні до тих, що застосовуються в серійних автомобілях. Це дозволяє уніфікувати технічне обслуговування, полегшити

ремонт і знизити витрати за рахунок використання поширених вузлів: ресор, амортизаторів, маточин, підшипників тощо.

Однак із розвитком ринку причіпної техніки, підвищенням вимог до вантажопідйомності, надійності, плавності ходу та ресурсу, виробники дедалі частіше застосовують власні технічні рішення, відмовляючись від класичних підвісок автомобільного типу. Це може бути пов'язано як з прагненням здешевити конструкцію (шляхом спрощення вузлів і зменшення маси), так і з необхідністю адаптації підвіски до вузькоспеціалізованих умов експлуатації (наприклад, перевезення тендітного вантажу або роботи в умовах бездоріжжя).

Такі конструкції часто включають підвіски на резинOMETАЛЕВИХ блоках, гуможгутові елементи, пружні балки з інтегрованим демпфуванням тощо. В окремих випадках використовуються агрегати, зняті з автомобілів, що були в експлуатації, але ще придатні для повторного застосування. Це може зменшити витрати на виготовлення, проте викликає складнощі в стандартизації та уніфікації обслуговування.

Таким чином, виникає необхідність у техніко-економічному аналізі сучасних типів підвісок, що використовуються в легкових причепах, особливо тих, що належать до класу зменшеної металоємності. Це дозволить обґрунтувати оптимальні конструктивні рішення, які забезпечать баланс між надійністю, вартістю, технологічністю виготовлення та простотою обслуговування.

Мета роботи – обґрунтування доцільності розробки удосконаленої конструкції підвіски автомобільного причепа зменшеної металоємності, яка поєднує високу експлуатаційну ефективність і мінімальну матеріалоємність.

Об'єкт дослідження – конструктивна металоємність і ефективність роботи підвісок легкових причепів.

Предмет дослідження – технічні рішення підвісок причепів для легкових автомобілів, їх порівняльні характеристики, ресурсоємність, технологічність виготовлення та ремонтпридатність.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

Провести огляд ринку легкових причепів в Україні з ідентифікацією найбільш популярних моделей та виробників.

Проаналізувати конструктивні особливості існуючих підвісок причепів зменшеної металоємності.

Здійснити техніко-економічне порівняння підвісок різних типів, з урахуванням ваги, ресурсу, вартості виготовлення та надійності.

Обґрунтувати доцільність вибору конкретного типу підвіски для модернізації та розробити варіант ефективної конструкції з оптимізованою металоємністю.

2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВІСКИ. ПРОПОЗИЦІЇ УДОСКОНАЛЕННЯ.

2.1 Вибір причепа для модернізації підвіски

Одновісний легковий причіп ПГМФ-8232 призначений для перевезення різних вантажів загальною масою до 750 кг. Причіп комплектується цільнометалевим кузовом із оцинкованої сталі, який має підвищену стійкість до корозії, а також фанерним або сталевим днищем. Для захисту вантажу від атмосферних опадів передбачений тентовий навіс із міцної вологостійкої тканини типу «ТЕЗА», закріплений на металевих дугах. Загальний вигляд причепа наведено на рисунку 2.1.

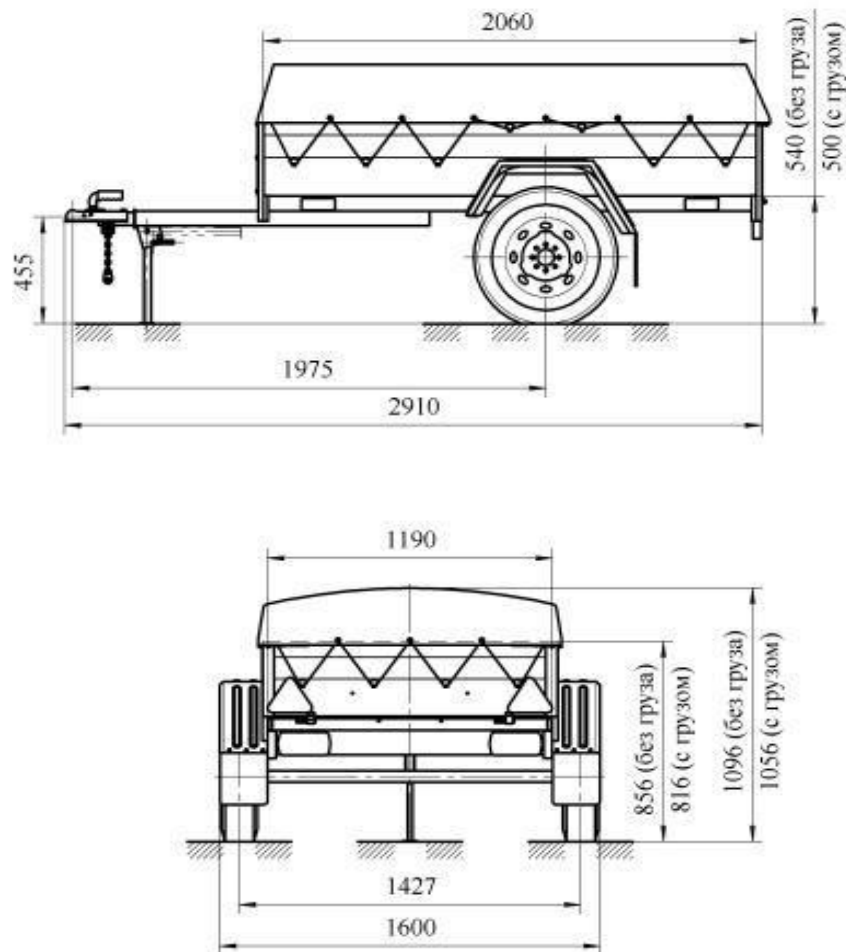


Рисунок 2.1 – Загальний вид причепа «ПГМФ -8232»

Для підвищення функціональності та зручності експлуатації причіп обладнано додатковими елементами: тентом, складними дугами, запасним колесом, комплектом противідкатних упорів, світлотехнікою та стандартною електропроводкою з маслобензостійкою ізоляцією.

Причіп може експлуатуватись із широким спектром легкових автомобілів, оснащених тягово-зчіпним пристроєм (ТЗП) кульового типу діаметром 50 мм (відповідно до міжнародного стандарту ISO 1103:1976), а також 7-контактною штепсельною розеткою для підключення електрообладнання причепа.

Конструкція платформи передбачає відкривання переднього та заднього бортів, що забезпечує легкий доступ до вантажного простору, а також дозволяє транспортувати довгомірні вантажі. Знімні борти виготовляються з ламінованої вологостійкої фанери або металу.

Дишло причепа виконано у вигляді жорсткої А-подібної конструкції, звареної з гнучого сталевого профілю. На його передній частині розміщується вузол зчеплення – механізм, який фіксує причіп на зчіпній кулі тягача. Залежно від модифікації, вузол зчеплення може бути оснащений індикатором зносу та регулюванням зазору між зчіпною «чашкою» і кулею.

Додатково на дишлі можуть бути встановлені:

- страхувальні троси або ланцюги, що закріплюються в проушинах ТЗП тягача;
- складна опорна підставка з колесом або без, яка забезпечує стійкість причепа під час стоянки без автомобіля;
- кронштейн для запасного колеса.

Підвіска причепа – пружинного типу, пів залежна, аналогічна задній підвісці задньопривідних автомобілів ВАЗ. Як пружні елементи використовуються циліндричні гвинтові пружини. Балка осі кріпиться до рами причепа за допомогою двох поздовжніх і однієї поперечної тяги, що забезпечує контроль положення осі в усіх площинах. Така схема забезпечує

хорошу стійкість на дорозі та помірну жорсткість підвіски при низькому навантаженні.

Колеса змонтовані на ступицях, уніфікованих із маточинами легкових автомобілів. Встановлюються здебільшого камерні шини розмірності 165/70 R13 або 175/70 R13. Вимоги до глибини протектора шин – не менше 1,6 мм, відповідно до ДСТУ 3649. Не допускається сумісне використання на осі радіальних і діагональних шин, а також шин із різним малюнком протектора.

Рекомендований тиск у шинах залежить від завантаження причепа та вказується в документації на конкретну модель. З метою збереження ресурсу шин і підвищення безпеки рекомендується регулярно перевіряти тиск перед кожною поїздкою.

Світлотехніка причепа відповідає вимогам Правил дорожнього руху та включає:

- задні ліхтарі: стоп-сигнали, покажчики повороту, габаритні вогні червоного кольору;
- освітлення номерного знака;
- задні протитуманні ліхтарі (1 або 2 шт.);
- світлоповертачі: червоні (трикутні – задні), білі (передні), помаранчеві (бокові).

Живлення здійснюється через 7-контактну штепсельну розетку, підключену до електропроводки автомобіля. Колірна ідентифікація дротів відповідає стандарту ISO 1724:2003, а правильне підключення забезпечує синхронізацію роботи всіх світлових приладів.

Габаритна конфігурація причепа передбачає винесені за межі кузова колеса, що полегшує завантаження і розвантаження, а також дозволяє зменшити висоту платформи. Завдяки цьому, при зберіганні в гаражі причіп можна щільно притиснути до стіни, звільнивши корисний простір.

Противідкатні упори (2 шт.) обов'язкові для використання на ухилах або під час тривалого паркування. Вони зберігаються у спеціальних фіксаторах на рамі причепа.

Перед початком експлуатації обов'язковим є ознайомлення з інструкцією виробника, перевірка стану всіх з'єднань, кріплень, гальмівних елементів (за наявності), освітлення та шин.

Порівняльна таблиця 2.1 з основними характеристиками причепа ПГМФ-8232 та двох аналогічних моделей на ринку України: ЛЮБАРТ V0-2113 і Дніпро-150. Це дозволяє краще оцінити конструктивні особливості, вантажні можливості та економічність моделей.

Таблиця 2.1 – Порівняння технічних характеристик легкових причепів

Параметр	ПГМФ-8232	ЛЮБАРТ V0-2113	Дніпро-150
Тип причепа	Одновісний легковий	Одновісний легковий	Одновісний легковий
Повна маса, кг	750	750	650
Споряджена маса, кг	~180	180	~150
Конструктивна вантажопідйомність, кг	~570	720	500
Довжина кузова (внутрішня), мм	~2000	2050	1500
Ширина кузова (внутрішня), мм	~1250	1250	1300
Висота борту, мм	~400	400	350–500 (на замовлення)
Підвіска	Пружинна, залежна	Ресорна, AL-KO	Ресорна (AL-KO / Волга)
Маточини	Типу ВАЗ-2108 (чавунні)	AL-KO 98x4, дворядний підшипник	Під ВАЗ-2108, дворядний підшипник
Колеса	13", камерні	R13 165/175	R13
Конструкція диска	A-подібне	V-подібне з гнутого профілю	Пряме (знімне)
Зчпний пристрій	Ø 50 мм, кульовий	AL-KO, на 750 кг	ВАЗ-сумісний, оцинкований
Світлотехніка	12 В, розжарювання	12 В, лампи	12 В, лампи
Рама	Нескладна	Розбірна	Зварна, ґрунтована + емаль
Кузов	Оцинкована сталь	Оцинкована фанера	Порошкове фарбування
Тент	Є (тканина ТЕЗА)	Встановлюється окремо	За доплатою
Запасне колесо	Так	Так	За доплатою
Ціна (орієнтовна), грн	~46000	44500	17400

Причіп ПГМФ-8232 займає середню позицію між компактною моделлю Дніпро-150 і більш потужним ЛЮБАРТ V0-2113. Його підвіска пружинного типу надає кращу плавність ходу в порівнянні з ресорною, особливо на малих навантаженнях. Оцинкований кузов забезпечує тривалий термін служби, навіть за умов підвищеної вологості.

ЛЮБАРТ V0-2113 має найбільшу вантажопідйомність у порівнянні з аналогами, але його вартість і споряджена маса також є вищими. Він підходить для активної експлуатації в комерційних цілях.

Дніпро-150 – доступна модель з простою конструкцією та низькою масою. Ідеально підходить для нечастих перевезень невеликих вантажів. Проте, обмежена вантажопідйомність і відсутність оцинковки кузова зменшують його довговічність.

2.2 Оцінка ефективності та конструкції різних типів підвісок причепів для легкових автомобілів.

Підвіска легкового причепа виконує критично важливу функцію — вона забезпечує згладжування динамічних навантажень, що виникають під час руху, та знижує коливання вантажу і конструкції причепа. Від типу підвіски значною мірою залежать стійкість, комфортність перевезення, рівень збереження вантажу та експлуатаційна надійність самого причепа.

На практиці нерідко використовуються підвіски, запозичені або уніфіковані з підвісками легкових автомобілів. Це забезпечує взаємозамінність запчастин, знижує експлуатаційні витрати та спрощує ремонт. У випадках, коли ресурс автомобільної підвіски не вичерпано, її вузли можна успішно застосовувати і на причепах. Проте у прагненні зменшити собівартість, масу та складність конструкції, виробники нерідко вдаються до спрощення класичних схем або ж створення спеціалізованих підвісок, які не зустрічаються на автомобілях.

Загалом, до пружних елементів, що застосовуються в підвісках причепів, належать:

- Металеві пружини (рис. 2.2) (листові ресори(рис. 2.3), циліндричні пружини (рис. 2.4), торсіони (рис. 2.6));
- Гумові еластичні елементи (резиножгутові підвіски);
- Пневматичні системи (пневноподушки(рис. 2.8), гідропневматичні елементи (рис. 2.7)).



Рисунок 2.2 – Металеві елементи

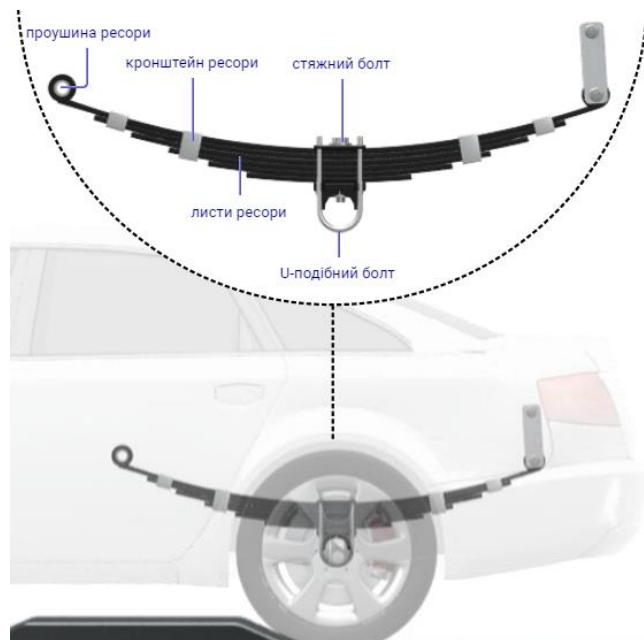


Рисунок 2.3 – Листова пружина (ресора)



Рисунок 2.5 – Циліндрична пружина

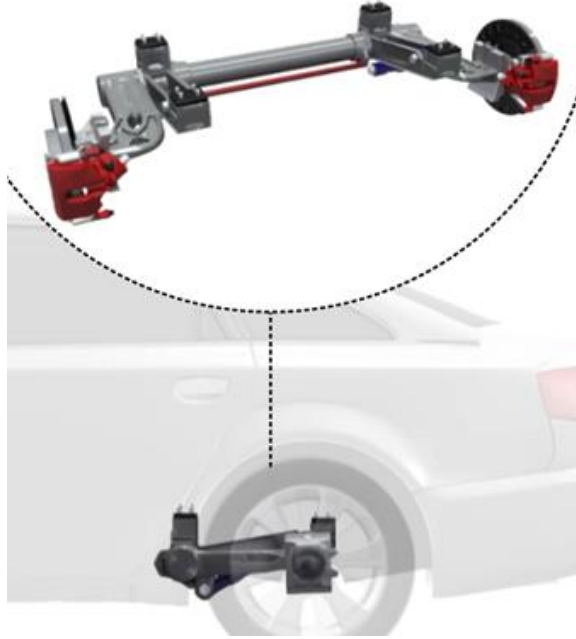


Рисунок 2.6 – Торсіона пружина

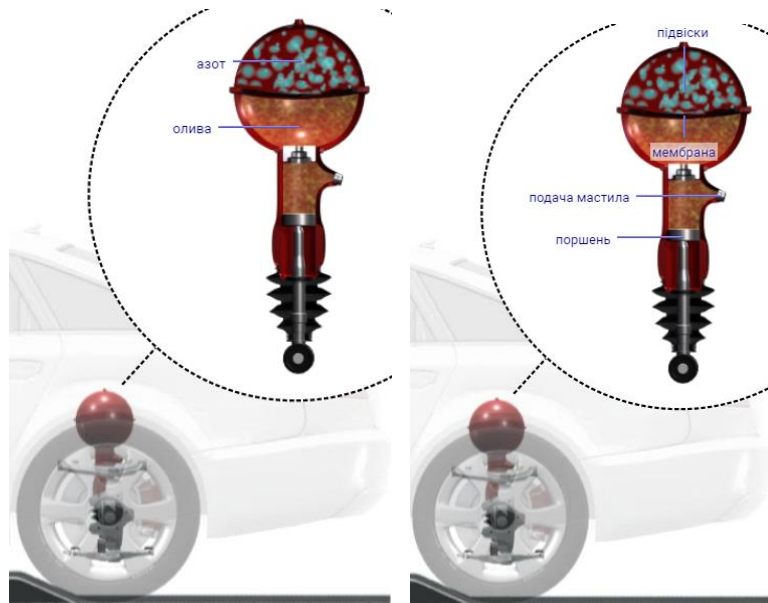


Рисунок 2.7 – Гідропневматичні пружні елементи



Рисунок 2.8 – Пневматичні пружні елементи

Порівняймо ці типи підвісок за основними критеріями.

Ресорна залежна підвіска базується на листових ресорах, які одночасно виконують функції амортизації та направлення осі. Її перевагами є простота конструкції, надійність, здатність витримувати великі навантаження. До недоліків належать значна маса, обмежена чутливість до дрібних коливань і схильність до зносу внаслідок міжлистового тертя. Такий тип підвіски характерний для причепів вантажопідйомністю понад 1 тону.

Пружинна залежна підвіска використовує циліндричні металеві пружини, аналогічні тим, що застосовуються у задній підвісці автомобілів. Напрямні функції виконує система поздовжніх і поперечних тяг. Вона забезпечує кращу плавність ходу і зменшену масу, але вимагає регулярного обслуговування шарнірних з'єднань, які мають гумометалеві втулки.

Торсіонна підвіска заснована на використанні торсіонного вала, що працює на кручення. Підвіска має компактні габарити, низьку безпружинну масу та довговічність. Один кінець торсіона кріпиться до корпусу, інший — до важеля з маточиною колеса. Така підвіска не потребує обслуговування і добре працює в умовах змінного навантаження. Її конструктивна схема нагадує передню підвіску ЗАЗ-968. З недоліків — складність регенерації торсіонів у разі втрати пружних властивостей.

Гумоножгутова (резиножгутова) підвіска (рисунок 2.9) — це інерційна, пружинно-напрямна система, у якій використовуються гумові джгути, укладені в сталеву трубу. Внутрішній вал (на якому кріпиться важіль з маточиною) при обертанні стискає джгути, створюючи опір і забезпечуючи пружну дію. Такий тип підвіски не потребує амортизаторів, має малу масу, високий ресурс, а також виключає необхідність у мастилі. Головним недоліком є короткий хід, а також складність виготовлення спеціалізованих труб для джгутів. У зв'язку з цим гумоножгутова підвіска найчастіше імпортується з ЄС і використовується у причепах масою від 750 до 2500 кг.

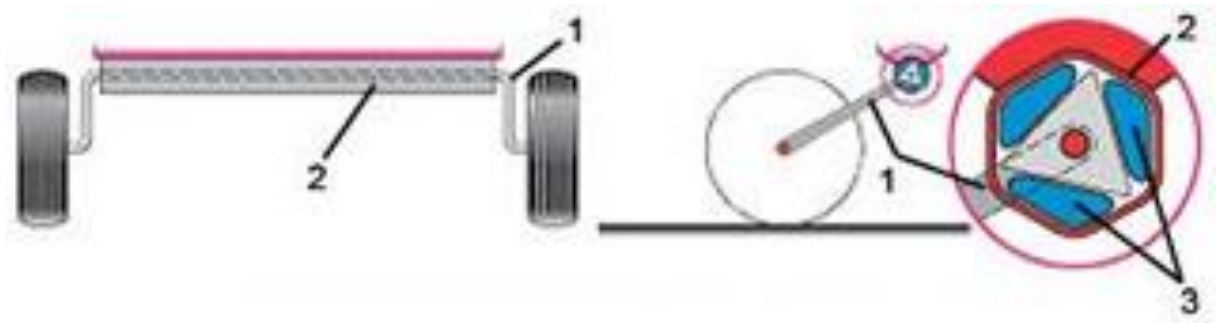


Рисунок 2.9 – Схема резиножгутової підвіски причепа: 1 – поздовжній важіль, 2 зовнішня труба, 3 – гумові джгути.

Пневматична підвіска, хоча рідко застосовується на легкових причепах, іноді встановлюється на спеціалізованих або дорогих моделях. Переваги: можливість регулювання кліренсу, плавність ходу, адаптація до навантаження. Проте така система складна, дорога, вимагає компресора, електронного управління та якісного технічного обслуговування.

Таблиця 2.2 – Порівняння основних типів підвісок:

Тип підвіски	Вага	Комфорт	Обслуговування	Стійкість до зношування	Вартість
Ресорна (листова)	Висока	Низький	Мінімальне	Середня	Низька
Пружинна (залежна)	Середня	Середній	Потрібне	Залежить від втулок	Середня
Торсіонна	Низька	Високий	Не потребує	Висока	Середня
Гумоножгутова	Низька	Середній	Не потребує	Висока	Середня / Висока
Пневматична	Середня / Висока	Високий	Високе	Середня	Висока

Таким чином, вибір типу підвіски для легкового причепа має базуватися на балансу між вартістю, комфортом, експлуатаційною надійністю та умовами використання. Сучасні тенденції демонструють зростаючий інтерес до резиножгутових підвісок завдяки їхній довговічності, надійності та відсутності потреби в обслуговуванні, що робить їх оптимальними для серійних причепів малої та середньої вантажопідйомності.

2.3 Аналіз конструкції та елементів пружинної підвіски причепа ПГМФ-8232

Причіп «ПГМФ-8232», як і більшість моделей аналогічного типу, оснащений підвіскою класичного компонування, виконаною за схемою залежної пружинної підвіски. Загальна конструкція цієї підвіски представлена на рисунку 2.7.

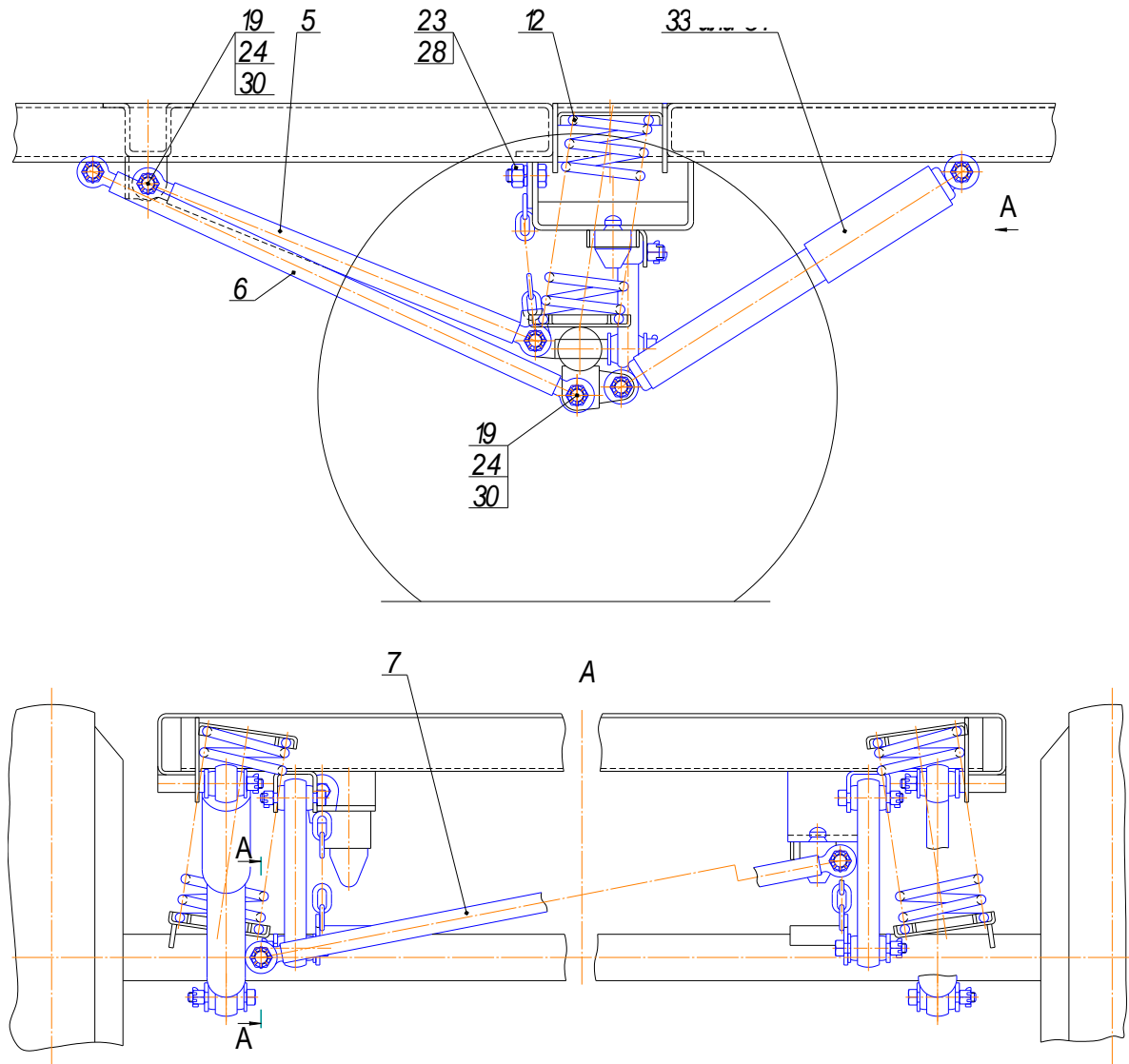


Рисунок 2.7 – Підвіска причепа

Основними пружними елементами конструкції є дві циліндричні гвинтові пружини (позиція 12), виготовлені з сталевого прутка круглого перерізу діаметром 11 мм. Матеріалом для виготовлення пружин слугує високовуглецева пружинна сталь марки 60С2А, яка характеризується високою межею пружності, зносостійкістю та втомною міцністю. Понад 50 % довжини

кінцевих витків кожної пружини щільно підігнані до робочих, утворюючи так звані опорні витки. Саме ці витки спираються на спеціальні опорні чашки, що жорстко приварені відповідно до рами причепа та балки осі.

Кожна опорна чашка має внутрішнє центральне кільце, висота якого дорівнює висоті опорного витка, а діаметр дещо менший за внутрішній діаметр пружини. Завдяки цьому пружина надійно центрується і не зміщується під дією вібрацій або динамічних навантажень під час руху, що забезпечує ефективно згладжування коливань.

Для обмеження ходу відбою (розтягування) підвіски встановлюється система безпеки у вигляді сталевих ланцюгів. Вони з'єднують балку осі з рамою та не дозволяють пружинам випадково вилетіти з посадкових місць під час динамічних ударів, особливо при русі по нерівностях. Довжина ланцюгів підібрана таким чином, щоб у натягнутому стані забезпечувати початкову деформацію пружин із зусиллям натягу близько 10 кг. Це створює початкове зусилля, яке додатково стабілізує підвіску в крайніх положеннях.

Гумовий буфер відбою встановлюється над пружиною в зоні ходу стиснення і виконує роль прогресивного обмежувача. Його спеціально підібрана геометрія дозволяє формувати нелінійну характеристику жорсткості: чим більше ступінь деформації, тим вищий опір. Такий ефект дозволяє ефективно амортизувати великі динамічні навантаження без пошкодження вузлів підвіски.

Стабілізація положення балки осі у просторі здійснюється через систему реактивних тяг. У підвісці застосовано дві поздовжні та одну поперечну тягу, які передають відповідно тягові/гальмівні та бічні навантаження між рамою причепа та віссю. Кожна тяга на кінцях оснащена шарнірами з гумометалевими втулками (сайлент-блоками), які гасить мікроколивання та шум. Отвори у тягах мають токарну обробку для точного з'єднання з пальцями, закріпленими на балці або рамі.

Сайлент-блоки, що використовуються в з'єднаннях тяг, мають класичну будову: внутрішню та зовнішню металеві втулки, між якими запресована

гумова втулка. Ця конструкція дозволяє гасити як осьові, так і радіальні коливання без необхідності в мастилі. З часом, внаслідок старіння гуми під дією температури, вологи та механічних коливань, втулки зношуються та потребують заміни. Типову конструкцію такого вузла зображено на рисунку 2.8.

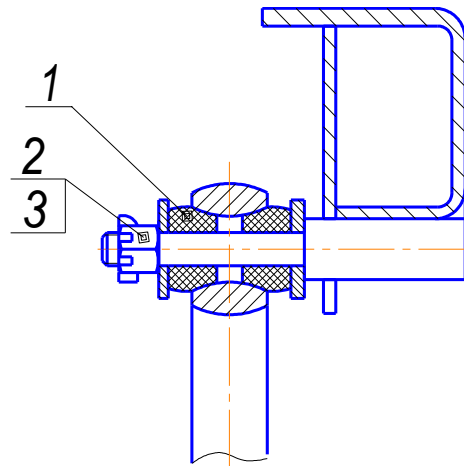


Рисунок 2.8 – Конструкція сайлент-блоку

Кріплення реактивних тяг до балки осі виконано в асиметричному порядку: дві тяги кріпляться до балки з верхньої сторони, одна – з нижньої. Таке компонування формує умовну трапецію з осями тяг, що дозволяє балці осі при вертикальних коливаннях обертатись навколо уявної осі, не порушуючи геометрії посадки пружин. Завдяки цьому зберігається симетричне навантаження та сприятливі умови роботи пружинних елементів.

Для демпфування коливань підвіски застосовуються двосторонньої дії гідравлічні телескопічні амортизатори (позиція 33), які кріпляться до балки та рами за допомогою аналогічних гумових сайлент-блоків. Робоча рідина в амортизаторі переміщується через систему клапанів, що створює опір переміщенню штока і таким чином поглинає енергію коливань. Умовою стабільної роботи амортизатора є відсутність витікань та збереження герметичності гумових ущільнень, тому періодичний технічний огляд є обов'язковим.

Таким чином, підвіска причепа «ПГМФ-8232» реалізує класичну залежну пружинну схему із застосуванням реактивних тяг, прогресивних буферів, ланцюгових обмежувачів ходу та гідравлічних амортизаторів. Її основними

перевагами є відносна простота конструкції, ремонтпридатність, комфорт при русі та доступність стандартних комплектуючих. Водночас, знос еластомерних елементів (гумових втулок, буферів, ущільнень) потребує регулярного технічного обслуговування.

2.4 Торсіонна підвіска у легкових причепах: ефективність, надійність, технологічність

Торсіонна підвіска є конструктивною альтернативою класичним залежним або незалежним пружинним системам і застосовується у випадках, коли пріоритетом є простота конструкції, компактність, зниження металоємності та підвищена надійність. Принцип її дії базується на пружних властивостях торсійного елемента (вала або прутка), який закручується під дією навантаження, виконуючи функцію пружного елемента підвіски.

Торсіонні підвіски набули широкого поширення на техніці, де основними критеріями є міцність, витривалість та безвідмовність у важких умовах експлуатації. Зокрема, вони активно використовуються у військовій техніці (танки, гаубиці, артилерійські лафети), де плавність ходу не є критичною. Історично торсіони були встановлені і на низці серійних легкових автомобілів: зокрема, у конструкції передньої осі автомобіля ЗАЗ-968, на моделі Volkswagen Beetle, Renault 4, Peugeot 205, Citroën 2CV та інших.

У торсіонній підвісці елементом, що працює на кручення, може бути як суцільний торсіон (круглого, квадратного або шестигранного перерізу), так і складений (набірний) елемент, що складається з декількох скручених дротів або стрижнів. Набірні торсіони зазвичай мають нижчу жорсткість і більшу енергоємність, що сприяє плавнішому ходу. Крім того, вони мають меншу довжину і є більш технологічними у виробництві.

Основними перевагами торсіонної підвіски у конструкції причепів для легкових автомобілів є:

- Компактність. Завдяки розміщенню елементів всередині балки або рами, торсіонна підвіска не займає додаткового простору між віссю і платформою. Це дозволяє знизити висоту завантаження (вантажну висоту), що, в свою чергу, зменшує положення центра мас причепа і покращує його стійкість при русі.
- Незалежна дія на кожне колесо. При використанні двох окремих торсіонних валів на кожну сторону забезпечується незалежна робота коліс, що підвищує плавність ходу і знижує передачу вібрацій на раму.
- Зниження маси та металоємності. Відсутність окремих пружних елементів (пружин або ресор), реактивних тяг та сайлент-блоків дозволяє зменшити загальну кількість деталей, знизити масу і спростити обслуговування.
- Висока надійність. Торсіонні елементи практично не мають зношуваних з'єднань, їхня робота забезпечується тільки пружними деформаціями матеріалу. Вони рідко виходять з ладу, навіть за умов короткочасного перевантаження, і не потребують частого технічного обслуговування.
- Можливість регулювання. У деяких конструкціях передбачена можливість змінювати кут попереднього закручування торсіона, що дозволяє частково компенсувати втрату його пружності в процесі експлуатації або адаптувати підвіску під різні навантаження.

Зведена таблиця 2.3 порівняння пружинної та торсіонної підвісок, яка підсумовує ключові технічні характеристики, переваги й недоліки обох типів підвісок.

Однак торсіонна підвіска також має певні обмеження. Зокрема, у випадку втоми матеріалу або втрати пружних властивостей торсіонного стрижня виникає просідання рами, що знижує ефективність амортизації. Крім того, технологічно виготовлення наборних або профільованих торсіонів вимагає спеціалізованого обладнання і високої якості матеріалу, що може створювати труднощі для деяких вітчизняних виробників.

Таблиця 2.3 – Порівняння пружинної та торсійної підвісок

Критерій порівняння	Пружинна підвіска	Торсійна підвіска
Тип пружного елемента	Циліндричні пружини зі сталі 60С2А	Торсійні вали: суцільні або набірні, зі сталі
Компактність конструкції	Менш компактна, потребує більше місця	Компактна, дає можливість знизити висоту підлоги причепа
Наявність напрямних елементів	Поздовжні й поперечні реактивні тяги	Вбудована функція напрямлення (при правильному монтажі), додаткові реактивні елементи часто не потрібні
Гасіння коливань	Необхідні гідравлічні амортизатори	Часто достатньо внутрішнього демпфування; при потребі — мінімальне амортизування
Надійність у важких умовах	Помірна, потребує регулярної заміни сайлент-блоків	Висока, особливо при використанні набірної торсії
Знос деталей	Гумові втулки (сайлент-блоки) мають обмежений ресурс	Торсії витривалі, рідко виходять з ладу; знос пов'язаний зі втомою матеріалу
Обслуговування	Потрібне регулярне обслуговування сайлент-блоків та амортизаторів	Мінімальне обслуговування, менше рухомих з'єднань
Жорсткість підвіски	Пружини забезпечують прогресивну характеристику, буфер верхнього ходу амортизує ударні навантаження	Можна регулювати жорсткість за допомогою кута попереднього закручування
Вартість виробництва	Вища через більшу кількість елементів	Знижена завдяки простішій конструкції та меншій металоємності
Вплив на висоту центра мас	Більш високе розташування вантажної площини	Зменшена висота вантажної платформи, краща стійкість
Поширення у промисловості	Традиційно широко застосовується	Активно використовується в європейських причепах, військовій техніці, має потенціал до розширення на ринку причепів для легкових автомобілів в Україні
Приклади застосування	Причіп ПГМФ-8232, задні мости легкових автомобілів	Причіпи Al-Ko, Knott, європейські трейлери; військова техніка; передня підвіска ЗАЗ-968
Конструктивні особливості	Потрібна система з опорними чашками, обмежувальними ланцюгами, гідроамортизаторами	Торсіон встановлюється у поперечному балковому елементі, може бути інтегрований в окремий блок, який не потребує приварювання чи складного регулювання

Сучасним розвитком торсійної підвіски є гумоторсійна (резиножгутова) система, де в ролі пружного елемента виступають скручені джгути з вулканізованої гуми, розташовані між двома сталевими трубами. Така

підвіска, фактично поєднуючи переваги пружинної та торсіонної схем, має високу енергоємність, не потребує амортизаторів і не має металевих третьових з'єднань. Вона вже отримала широке поширення в європейських моделях причепів масою від 750 до 2500 кг.

Застосування торсіонної або гумоторсіонної підвіски у причепах, зокрема у моделях на зразок ПГМФ-8232, може мати ряд важливих переваг:

- зниження собівартості виробу при масовому виробництві;
- покращення керованості та зменшення розгойдування при русі на нерівностях;
- відсутність необхідності регулярного обслуговування;
- можливість повністю герметичного виконання для захисту від бруду і вологи.

Загалом, торсіонна підвіска — це конструктивне рішення, яке при правильному проектуванні може суттєво підвищити якість, надійність та довговічність легкових причепів, особливо в умовах частого використання на поганих дорогах, підвищеного навантаження або відсутності регулярного сервісу.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДВІСКИ ПРИЧЕПА

3.1 Початкові дані для розробки торсіонної підвіски

Для виконання розрахунку торсіонної підвіски легкового автомобільного причепа необхідно врахувати низку основних вихідних даних. До них належать:

- Маса спорядженого причепа – маса конструкції без урахування вантажу. Визначається за кресленням загального виду та конструкційними матеріалами.
- Маса корисного вантажу – навантаження, яке передається від вантажу на підвіску. Може розглядатися як статичне або динамічне навантаження.
- Розташування вантажу – має значний вплив на розподіл навантаження між віссю і тяговим пристроєм. Відносне положення центру мас вантажу визначає розподіл зусиль між пружними елементами.
- Тип і кількість торсіонів – залежить від схеми підвіски (наприклад, набірний або суцільний торсіон).
- Механічні характеристики матеріалу торсіонного вала – зокрема, модуль зсуву (G) сталі, з якої виготовлено торсіон.

Усі ці параметри слугують основою для визначення жорсткості пружного елемента, розподілу навантажень та оцінки поведінки підвіски під час руху.

З технічної документації на причіп «ПГМФ-8232» відомо::

- навантаження на вісь завантаженого причіпа - $2R^{2P}$;
- навантаження на вісь спорядженого причіпа - $2R^{CH}$;
- жорсткість пружинної підвіски причепа - c_n^{np} ;
- максимальний вертикальний хід колеса причепа; $f_{k\max}$
- Вертикальний хід колеса (деформація підвіски від вантажу) - f_{k0} .

З технічної характеристики ми знаємо що навантаження на вісь причепа становить $2R^{2P} = 460,0 \text{ кг} = 4522,60 \text{ Н}$, навантаження на кулю тягово-зчіпного пристрою $R_{CU} = 40,0 \text{ кг} = 391,40 \text{ Н}$.

Виходячи з повної маси M^{ep} та спорядженої ваги причепа M^{CH} , визначаємо масу корисного вантажу та навантаження на вісь у спорядженому стані:

$$M^{ep} = 460 \text{ кг} = 45222,60 \text{ Н}; M^{CH} = 170,0 \text{ кг} = 1677,70 \text{ Н};$$

$$M = 330 \text{ кг} = 3247,30 \text{ Н} \quad (3.1)$$

Розподіл навантажень зображено на схемі рисунка 3.1.

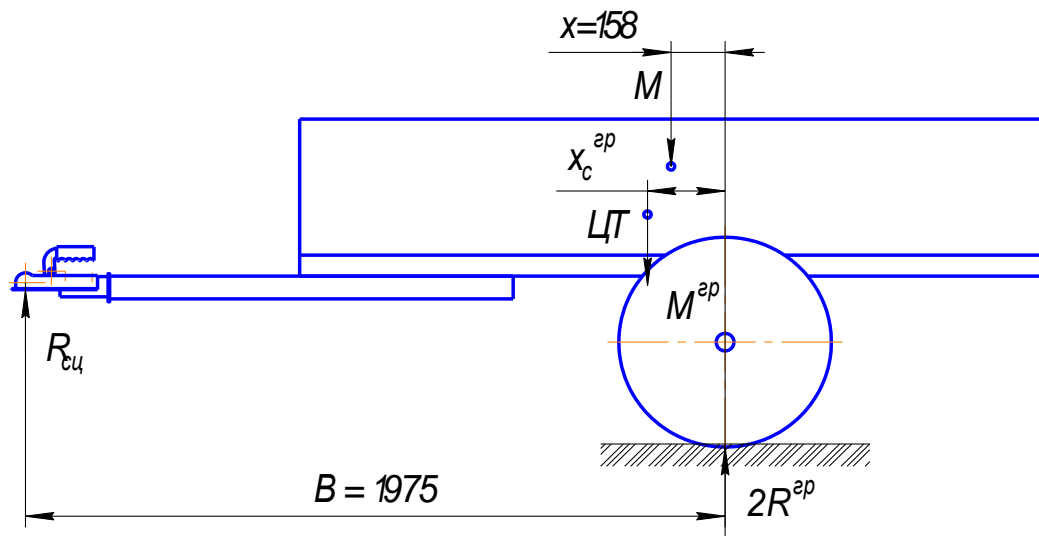


Рисунок 3.1 – Схема прикладення навантаження на навантажений причіп.

Використовуючи геометричні співвідношення схеми на рис. 3.1, координату центра мас визначаємо за формулою: x_c^{ep}

$$\Sigma m_{(ЦГ)} = 0; 2R^{ep} \times x_c^{ep} = R_{сц} \times (B - x_c^{ep}) \quad (3.2)$$

Звідси визначаємо координату центру ваги причіпа

$$x_c^{ep} = \frac{R_{сц} \times B}{2R^{ep} + R_{сц}} \quad (3.3)$$

$$x_c^{ep} = \frac{392,4 \times 1,975}{4512,6 + 392,4} = 0,1680 \text{ м}$$

Отримане значення координати центру ваги відповідає осі симетрії кузова, отже:

$$x_c^{CH} = 158 \text{ мм} = 0,1680 \text{ м}$$

Далі, за схемою навантаження спорядженого причепа (рис. 3.2), розрахуємо навантаження на вісь у цьому стані:

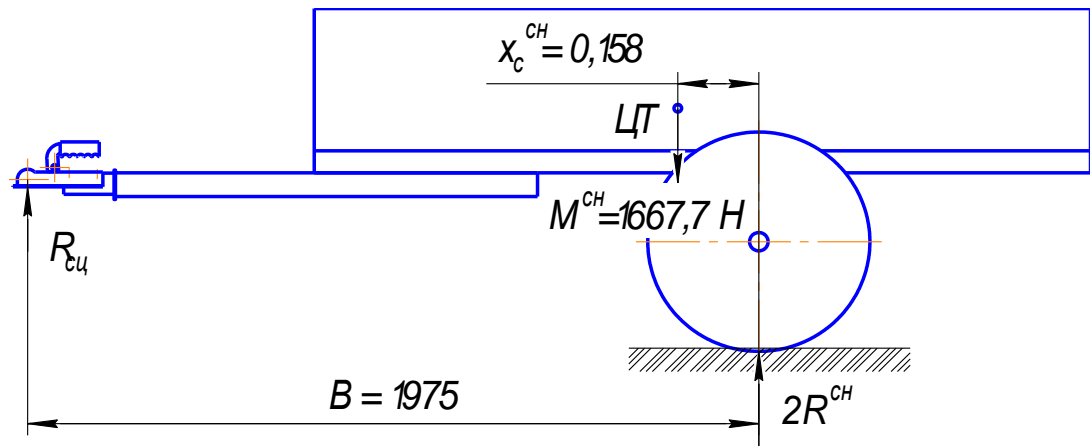


Рисунок 3.2 – Схема навантаження спорядженого причепа

З рисунка 3.2 впливає

$$\Sigma m_{(цу)} = 0; \quad 2R^{CH} \times B - M^{CH} \times (B - x_c^{CH}) = 0,0; \quad (3.4)$$

З отриманого виразу навантаження на вісь спорядженого причепа становитиме

$$2R^{CH} = \frac{M^{CH}(B - x_c^{CH})}{B} \quad (3.5)$$

$$2R^{CH} = \frac{1667,7(1,975 - 0,158)}{1,975} = 1535,20 \text{ Н}$$

При розрахунку підвісок враховуються не навантаження на вісь у завантаженому чи спорядженому стані, а навантаження від підресорених мас. Величина підресорених мас причепа може бути визначена після вирахування з навантажень на ваги коліс та балки осі причепа.

Вага колеса причепа складає $m_{кол} = 14 \text{ кг} = 137,440 \text{ Н}$

Вага балки осі причепу $m_{б} = 10 \text{ кг} = 98,12 \text{ Н}$

Загальна вага безпружинних мас причепа становитиме

$$m_{нпр} = 2m_{кол} + m_{б} \quad (3.5)$$

$$m_{нпр} = 2 \times 137,34 + 98,1 = 372,81 \text{ Н}$$

Підресорене навантаження, що припадає на пружину підвіски
навантаженого причепа

$$R_{подр}^{zp} = \frac{2R^{zp} - m_{нпр}}{2} \quad (3.6)$$

$$R_{подр}^{zp} = \frac{4512,6 - 372,8}{2} = 2070,0, \text{ Н}$$

Підресорене навантаження, що припадає на пружину підвіски
спорядженого причепа

$$R_{подр}^{сн} = \frac{2R^{сн} - m_{нпр}}{2} \quad (3.7)$$

$$R_{подр}^{сн} = \frac{1534,2 - 372,8}{2} = 581,0 \text{ Н}$$

За величинами підресорених навантажень та деформації підвіски під дією вантажу визначимо жорсткість пружинної підвіски причепа $c_n^{нр}$. Жорсткість пружинної підвіски не дорівнює жорсткості пружини, так як пружина в підвісці встановлена під кутом вертикальної осі.

Деформація підвіски під впливом вантажу $f_{к0}$ може бути визначена виходячи з даних креслення загального виду причепа і як 40 мм.

Жорсткість пружинної підвіски причепа може бути визначена з виразу

$$c_n^{нр} = \frac{R_{подр}^{zp} - R_{подр}^{сн}}{f_{к0}} \quad (3.8)$$

$$c_n^{нр} = \frac{2070 - 581}{40} = 37,2 \text{ Н/мм}$$

Максимальний вертикальний хід причепного колеса при упорі балки осі в буфер легко визначається за складальним кресленням підвіски і складає $f_{кmax} = 72$ мм.

Таким чином, вихідні дані та отримані параметри жорсткості використовуються як основа для конструктивного і проектного розрахунку

торсіонного елемента підвіски, який має забезпечити аналогічну чи вищу жорсткість, порівняно з існуючою пружинною системою..

3.2 Конструкція та розрахунок набірного торсіону для торсіонної підвіски

Для виготовлення набірного торсіону з пластинчастих елементів із прямокутним профілем, що мають квадратний переріз, доцільно застосовувати пластини однакової товщини. Кількість пластин у такому торсіоні визначається співвідношенням довжини торсіону до довжини. Якщо сторона пластини дорівнює "а", то кількість пластин можна розрахувати за формулою:

$$\text{кількість пластин} = (\text{довжина торсіону}) / a.$$

Це забезпечує необхідну довжину торсіону з потрібною кількістю елементів. Всі пластини виготовляються з матеріалу, що володіє достатньою міцністю та механічними властивостями для ефективною передачі крутних навантажень.

Використання набірного торсіону у торсіонній підвісці причепа підвищує надійність конструкції, зменшує жорсткість і збільшує довговічність. Комбінування пластин такого типу позитивно впливає на якість і експлуатаційні характеристики причепа.

$$n = \frac{b}{h} \quad (3.9)$$

Формула (3.9) описує товщину і ширину пластини:

де b і h - товщина та ширина пластини.

Проектовану форму перерізу торсіону ілюструє рисунок 3.3.

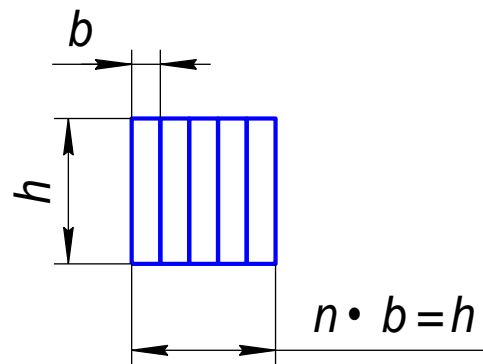


Рисунок 3.3 – Форма перерізу проектованого торсіону

Для виготовлення пластин рекомендовано використовувати високоміцну леговану сталь, наприклад 50ХГА або 60С2Х згідно з ДСТУ 14959-2009, що відповідає вимогам міцності та втомної стійкості. Загартування та дробоструминна обробка підвищують втомну міцність матеріалу, покращують поверхневий стан і зменшують ризик виникнення тріщин.

Перед складанням торсіонів рекомендується виконати їхнє попереднє закручування в протилежному робочому напрямку. Це збільшує стабільність і знижує ймовірність виникнення деформацій при експлуатації.

Крім вибору матеріалів, важливим є дотримання високої якості виготовлення пластин: точність розмірів, відсутність дефектів і тріщин, що гарантує безпечну роботу підвіски.

Товщина пластини набірного торсіону може бути обчислена за формулою (3.2), рекомендованою в [1]:

$$b = \frac{1,41 f_{\kappa \max}}{[\tau]} \sqrt{\frac{c_n^{np} \times G}{k \times n \times \alpha \times l}}, \text{ мм} \quad (3.2)$$

де G - модуль поперечної пружності матеріалу (для 60С2Х $G=7,8 \times 10^4$ Г $=7,80 \times 10^4$ МПа;

$[\tau]$ - допустиме напруження для матеріалу пластини, МПа; для загартованої сталі 60С2Х по ДСТУ 14959-2009 без дробеструйної обробки $[\tau] = 800,0$ МПа;

n - число прямокутних пластин в наборному торсіоні, шт.; $n = 4$;

α - коефіцієнт, що характеризує раціональність використання матеріалу при деформаціях крутіння некруглих стрижнів; залежить від величини відношення $k = \frac{b}{h}$, при $k = \frac{b}{h} = n = 4$ $\alpha = 0,5671$;

l - довжина робочої зони торсіону, мм; $l = 250,0$ мм;

$$b = \frac{1,41 \times 72}{800} \sqrt{\frac{37,2 \times 7,8 \times 10^4}{4 \times 4 \times 0,567 \times 250}} = 4,530 \text{ мм}$$

Буде $b = 5,0$ мм, тоді $h = n \times b = 4,0 \times 5,0 = 20,0$ мм

За цими даними товщина пластини становить приблизно 4,53 мм. Для спрощення приймають $t = 5,0$ мм, отже ширина пластини 5×20 , квадратний переріз набірного торсіону 20×20 а робоча довжина торсіону $l = 250$ мм.

Допустимий кут закручування пластини розраховується за формулою (3.3) [1]:

$$[\Theta] = \frac{[\tau] \times l}{G \times b}, \text{ рад} \quad (3.3)$$

$$[\Theta] = \frac{800 \times 250}{7,8 \times 10^4 \times 5} = 0,6401 \text{ рад} = 29,40^\circ$$

Для визначення проектних розмірів елементів підвіски торсійної необхідно визначити кутову жорсткість набірного торсіону. Кутова жорсткість торсіону розраховується за формулою 3.4

$$c_{\Theta} = \frac{M}{57300 \times \Theta}, \text{ Нм/град.} \quad (3.4)$$

де M - момент, закручування торсіона, Нм;

Θ - кут закручування торсіону, рад.; визначається за формулою 3.5

$$\Theta = \frac{M \times l}{G \times I_K} \quad (3.5)$$

де I_K - момент інерції перерізу торсіону при крученні, , момент інерції визначається за формулою 5, наведеною в літературному джерелі [2];

$$I_K = n \beta h^3 b, \text{ мм}^4 \quad (3.6)$$

де β - табличний коефіцієнт, що залежить від відношення $\frac{h}{b}$; при $\frac{h}{b} = 5$

$\beta = 0,291$;

$$I_K = 4 \times 0,291 \times 5^3 \times 20 = 2810,0 \text{ мм}^4$$

Підставивши у формулу 3.4 замість його вираз у вигляді формули 4 отримаємо формулу 6 за якою і визначимо кутову жорсткість торсіону

$$c_{\Theta} = \frac{G \times I_K}{57300 \times l} \quad (3.7)$$

Кутова жорсткість торсіону складе

$$c_{\Theta} = \frac{7,8 \times 10^4 \times 2810}{57300 \times 250} = 15,30 \text{ Нм/град}$$

Жорсткість торсіонної підвіски із поздовжніми важелями варіюється залежно від кута закручування торсіону і положення важеля. При горизонтальному положенні важеля жорсткість мінімальна, а деформації максимальні. Зі збільшенням кута закручування жорсткість знижується через зміну відстані від осі гойдання до лінії дії навантаження. При подальшому повороті важеля у горизонтальне положення жорсткість знову зростає через збільшення деформацій.

Цю залежність ілюструє рисунок 3.4.

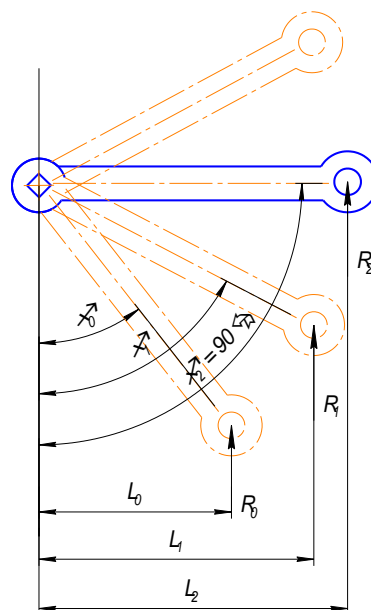


Рисунок 3.4 – Ілюстрація зміни жорсткості підвіски торсіону з поздовжніми важелями.

Оптимальний вибір довжини поздовжнього важеля дозволяє підтримувати практично постійну жорсткість підвіски при різних навантаженнях і положеннях причепа. Для завантаженого причепа важіль повинен бути горизонтальним (кут закручування близько $20,9^\circ$ при довжині важеля 155 мм), а для спорядженого — трохи похилим, що забезпечує зменшення коливань жорсткості.

Горизонтальне положення поздовжнього важеля торсійної підвіски на зачепленому причепі і похиле на спорядженому при деформації підвіски під вагою вантажу $f_{к0} = 40$ мм, використовуємо для визначення необхідної довжини поздовжнього важеля L .

Кут закручування торсіону Θ_2 при досягненні поздовжнім важелем горизонтального положення на завантаженому причепі за формулою 3.8

$$\Theta_2 = \frac{M_2}{c_\Theta} = \frac{R_{подр}^{2P} \times L}{c_\Theta}, \text{ град} \quad (3.8)$$

За довжини рважеляычага $L = 155$ мм кут закручування буде

$$\Theta_2 = \frac{2070 \times 0,155}{15,3} = 20,907^\circ$$

Деформація пружинної підвіски під дією ваги вантажу причепа складає $f_{к0} = 40,0$ мм. Проектована торсіонна підвіска теж має забезпечувати цю величину деформації, зберігаючи наступність із пружинною. Кут між горизонтальним важелем підвіски у завантаженому причепі та важелем у спорядженому причепі

$$\Delta\Theta = \arcsin \frac{f_{к0}}{L} = \arcsin \frac{40}{155} = 14,90^\circ$$

Тоді кут закручування торсіону при положенні важеля відповідного спорядженого причепа є

$$\Theta_1 = \Theta_2 - \Delta\Theta = 20,97 - 14,9 = 6^\circ$$

Момент, що закручує торсіон при положенні важеля.

$$M_1 = \Theta_1 \times c_\Theta = 6 \times 15,3 = 92,9 \text{ Нм}$$

Навантаження, перпендикулярне осі важеля,

$$R_1 = \frac{M_1}{L} = \frac{92,9}{0,155} = 599,20 \text{ Н}$$

Вертикальна навантаження $R_{\text{подр}}^{cH}$, що викликала деформацію, визначиться за формулою

$$R_{\text{подр}}^{cH} = R_1 \times \cos \Delta \Theta = 599,2 \times \cos 14,9 = 579,0 \text{ Н}$$

Отримане значення $R_{\text{подр}}^{cH} = 579,0 \text{ Н}$ відрізняється від розрахованого раніше

$$R_{\text{подр}}^{cH} = 581 \text{ Н} \text{ на } 2,0 \text{ Н, що не впливає.}$$

Максимальний кут закручування торсіону підвіски, відповідний упору важеля буфер обмеження динамічних ходів можна розрахувати за формулою

$$\Theta_{\text{max}} = \Theta_2 + \arcsin\left(\frac{f_{\text{к max}} - f_{\text{к 0}}}{L}\right) = 20,97 + \arcsin\left(\frac{72 - 40}{155}\right) = 32,87^\circ$$

Отриманий кут $\Theta_{\text{max}} = 32,88^\circ$ перевищує допустимий кут закручування торсіону $[\Theta] = 29,40^\circ$, розрахований вище за допустимими напруженнями $[\tau] = 800,0 \text{ МПа}$ також маловпливово.

Максимальний кут закручування при упорі важеля в буфер становить $32,88^\circ$ (формула 3.9), що трохи перевищує допустиме значення $29,40^\circ$, але перевантаження торсіону (4,8%) є прийнятним. [3.9].

$$\tau = \frac{3M(1 + 0,6\frac{b}{h})}{nb^2h} \quad (3.9)$$

де M - момент, що викликає закручування торсіону, Нм; при упорі важеля підвіски в буфер момент, що закручує, дорівнюватиме

$$M_{\text{max}} = c_{\Theta} \times \Theta_{\text{max}} = 15,3 \times 32,88 = 503,1 \text{ Нм}$$

Тоді максимальне напруження в елементах торсіону дорівнюватиме

$$\tau_{\text{max}} = \frac{3 \times 503,064 \times (1 + 0,6 \times \frac{5}{20})}{4 \times 0,005^2 \times 0,020} \times 10^{-6} = 838,708 \text{ МПа}$$

Перевантаження торсіону складе

$$\Delta = \frac{\tau_{\max} - [\tau]}{[\tau]} \times 100 = \frac{838,78 - 800}{800} \times 100 = 4,80\%$$

Таким чином, розрахунок розмірів торсіону і довжини поздовжнього важеля є ключовим етапом проектування торсіонної підвіски, що забезпечує її відповідність вимогам міцності, жорсткості і надійності.

Перевантаження торсіону входить у 5,0% , що припустимо.

За пружними властивостями проєктована торсіонна підвіска є подібною до пружинної підвіски причепа "ПГМФ-8532". Це свідчить про те, що такі характеристики, як жорсткість і втомна міцність, будуть близькими до параметрів існуючої моделі.

Водночас при розробці нової торсіонної підвіски слід враховувати додаткові чинники — навантаження, динамічні властивості, ергономіку та безпеку. Комплексний підхід до цих аспектів забезпечить оптимальну ефективність і якість підвіски.

У цілому, проектування торсіонної підвіски включає детальні розрахунки й визначення габаритних розмірів усіх складових, з урахуванням заданих технічних вимог та експлуатаційних параметрів.

3.3 Опис конструкції модернізованої торсійної підвіски причепа

Поздовжній важіль підвіски модернізованої торсіонної підвіски причепа «ПГМФ-8232» (рис. 3.5) виконаний у вигляді Г-подібної зварної конструкції, що складається з двох сталевих труб різного профілю. Верхня частина важеля оснащена привареною цапфою осі поздовжнього важеля, а в нижній частині розташована приєднувальна пластина для кріплення цапфи колеса причепа.

Цапфа колеса фіксується на приєднувальній пластині за допомогою болтів M10, які захищені спеціальним запобіжним механізмом від самовідкручування (аналогія зі з'єднанням цапфи колеса з балкою задньої осі GOLF).

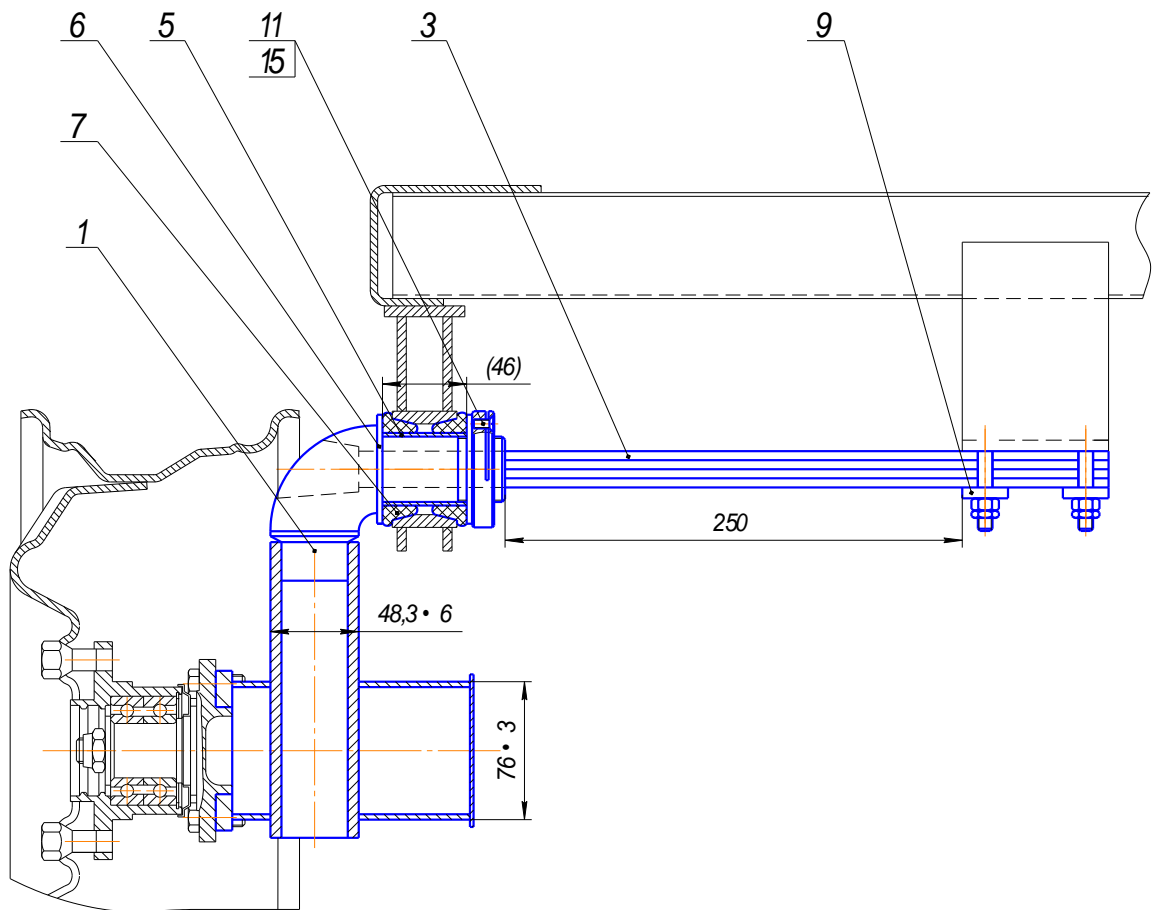


Рисунок 3.5 – Поздовжній розріз торсійної підвіски

Для забезпечення надійного зварного з'єднання використовується труба розміром 76×3 мм, яка жорстко з'єднується з основною трубою важеля $48,3 \times 6$ мм. На трубі 76×3 мм також розміщені скоба упору буфера та кронштейн кріплення нижньої головки амортизатора, що дозволяє інтегрувати амортизуючі елементи у конструкцію підвіски.

Цапфа осі, приварена до труби $48,3 \times 6$ мм, виконує функцію шарнірного вузла, який кріпить поздовжній важіль до рами причепа та служить місцем установки вільного кінця набірної торсіону.

На циліндричній поверхні цапфи встановлена тонкостінна втулка з кольорового металу довжиною 46 мм. Між втулкою і обоймою кронштейна рами затиснуті гумові втулки, що забезпечують точне центрування шарнірного вузла і сприяють гасінню динамічних навантажень від дорожнього покриття. Ступінь стиснення гумових втулок контролюється довжиною тонкостінної втулки.

Гайка, що фіксує шарнірний вузол, розрізна і стопориться гвинтом, який порушує крок різьблення та запобігає її самовідкручуванню.

У цапфі осі виконано квадратний отвір зі стороною 20 мм для вільного кінця набірною торсіону, що складається з чотирьох пластин товщиною 5 мм і шириною 20 мм. Цей пакет пластин жорстко закріплюється на кронштейнах рами причепа за допомогою спеціальних пластин та болтів з гайками. При повороті поздовжнього важеля під дією вертикальних навантажень реакція дороги на колесо призводить до закручування торсіону, який створює пружну силу, що врівноважує ці навантаження. Розрахункова робоча довжина торсіонного пакета складає 250 мм.

Поворот поздовжнього важеля забезпечує вертикальний хід колеса близько 15 мм або кут 6° . Торсіонна підвіска не потребує додаткових механічних обмежувачів відбою, оскільки торсіон міцно зафіксований на рамі і у цапфі осі.

Конструкція дозволяє встановлювати амортизатори з невеликою габаритною висотою, що сприяє зниженню загальної висоти причепа і покращенню його стійкості.

Жорсткість торсіонної підвіски змінюється залежно від кута закручування торсіону та положення поздовжнього важеля. Мінімальна жорсткість досягається, коли важіль розташований горизонтально, а при зміні кута положення жорсткість підвіски варіюється. Це забезпечує адаптивність підвіски до різних режимів руху.

В результаті проведеного проектного розрахунку визначено оптимальні розміри робочої частини торсіону і довжину поздовжнього важеля підвіски. Решту конструктивних параметрів можна уточнювати під час подальшого конструювання.

Пружні характеристики розробленої торсіонної підвіски відповідають характеристикам пружинної підвіски причепа «ПГМФ-8232», що гарантує схожу експлуатаційну надійність і ефективність.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги безпеки при роботі з підвісками легкових автомобілів

Робота з підвісками легкових автомобілів передбачає виконання різноманітних механічних операцій, таких як демонтаж, ремонт, регулювання та монтаж підвісних елементів. Для запобігання травмам і нещасним випадкам під час виконання цих робіт слід суворо дотримуватися правил охорони праці та безпеки.

Перш за все, перед початком робіт необхідно забезпечити належне оснащення робочого місця спеціальним інструментом і засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). До основних ЗІЗ належать захисні рукавички, окуляри, спецодяг і засоби захисту органів дихання за потреби. Особлива увага приділяється захисту рук, оскільки під час роботи з пружинами, торсіонами та металевими деталями існує високий ризик порізів, защемлень та забоїв.

Підвіски часто містять пружні елементи під високим напруженням. Перед демонтажем або регулюванням таких елементів необхідно розрядити напругу, використовуючи спеціальні пристрої або технологічні прийоми. Недотримання цього правила може призвести до раптового викиду пружин і травмування робітника.

Для зручності та безпеки робіт з підвісками рекомендується застосовувати підйомні механізми або домкрати, які дозволяють зафіксувати автомобіль у піднятому положенні. Нестабільність автомобіля або причепа під час роботи створює небезпеку їх падіння, що може спричинити тяжкі травми або загибель [17].

Робоче місце повинне бути добре освітленим, чистим та вільним від зайвих предметів, які можуть спричинити спотикання чи падіння. Всі електроінструменти і механізми, що використовуються, мають проходити періодичне технічне обслуговування та перевірку на справність.

Особливу увагу слід приділяти роботі з деталями, які можуть мати гострі краї або забруднення мастилами та хімікатами. Для мінімізації ризику контакту з небезпечними речовинами слід використовувати захисний одяг і дотримуватися правил гігієни — мити руки після завершення робіт, не торкатися обличчя під час роботи, уникати вживання їжі та напоїв у робочій зоні.

Проведення навчань та інструктажів з охорони праці є обов'язковим для всіх працівників, які виконують роботи з підвісками. Це дозволяє підвищити обізнаність персоналу щодо потенційних ризиків і способів їх уникнення. [18].

4.2 Вимоги безпеки при роботі з причепами легкових автомобілів

Роботи з причепами легкових (табл. 4.1) автомобілів включають їх підключення, огляд, технічне обслуговування, ремонт та експлуатацію. При цьому дотримання правил безпеки має особливе значення через наявність рухомих і вантажонесучих механізмів, високі навантаження та потенційну небезпеку перевантаження.

Перед початком експлуатації причепа необхідно перевірити справність гальмівної системи, кріплень, світлових приладів і шарнірних з'єднань. Несправності в цих системах можуть призвести до аварійної ситуації на дорозі.

При зчепленні причепа з автомобілем важливо забезпечити надійне кріплення кульового зчіпного пристрою та перевірити відсутність люфтів. Ненадійне зчеплення створює ризик від'єднання причепа під час руху, що є причиною серйозних ДТП.

При обслуговуванні причепів слід застосовувати спеціальні підставки або опори для забезпечення стабільності конструкції під час виконання робіт під кузовом чи підвіскою. Використання лише домкрата без додаткового фіксування є небезпечним, оскільки домкрат може зсунути або впасти.

Таблиця 4.1 — Основні заходи охорони праці при роботі з підвісками та причепами легкових автомобілів

Категорія робіт	Основні заходи безпеки	Засоби захисту та обладнання
Робота з підвісками	- Використання індивідуальних засобів захисту	Захисні рукавички, окуляри, спецодяг
	- Використання підйомних механізмів для стабілізації авто	Домкрати, підставки, стійки
	- Розрядження напруги пружин перед розбиранням	Спеціальні пристрої для зняття напруги
	- Чисте, освітлене робоче місце	Організація робочої зони
	- Навчання та інструктажі	Документація, тренінги
Робота з причепами	- Перевірка гальм, кріплень і світлових приладів	Контрольні пристрої, інструменти
	- Надійне кріплення кульового зчіпного пристрою	Болти, замки, ключі
	- Використання підставок при ремонті	Підставки, домкрати
	- Зняття напруги з пружних елементів	Спеціальні інструменти
	- Використання механізмів для підйому важких деталей	Візки, крани
	- Правильне завантаження і рівномірний розподіл вантажу	Ваги, розподільники вантажу
	- Регулярний технічний огляд	Технічні журнали, діагностичне обладнання

Ремонтні роботи з підвісками причепів вимагають особливої обережності через присутність торсіонних пружин, амортизаторів і механізмів обмеження ходу. Перед демонтажем будь-яких деталей слід зняти напругу з пружних елементів і зафіксувати рухомі частини.

При транспортуванні та складуванні запчастин до причепів слід дотримуватись правил безпеки для уникнення травм під час підйому та перенесення важких або громіздких деталей. Рекомендується використовувати механізми підйому, візки або допоміжний персонал.

Експлуатація причепів також передбачає дотримання правил безпечного завантаження — не перевищувати максимально допустиму вантажність, рівномірно розподіляти вантаж, щоб уникнути перекосу або надмірних навантажень на підвіску.

Особливу увагу слід приділяти регулярному технічному огляду підвіски, гальмівної системи та кріплень причепа для своєчасного виявлення зношування або пошкоджень, що можуть призвести до аварійних ситуацій.

Загалом, дотримання вимог охорони праці під час роботи з причепами забезпечує безпеку працівників і надійну експлуатацію техніки, що сприяє зниженню ризиків виробничих травм та аварій.

5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБКИ ПІДВІСКИ ПРИЧЕПУ

Розроблена в цій роботі торсіонна підвіска причепів для легкових автомобілів моделі «ПГМФ-8232» має суттєві відмінності від традиційної пружинної підвіски, що наразі застосовується. Основними перевагами нової конструкції є зниження металоємності та зменшення трудомісткості виготовлення. Загальна маса деталей торсіонної підвіски становить 12 кг, тоді як маса елементів пружинної підвіски досягає 15 кг. Варто також врахувати, що в конструкції розробленої підвіски відсутній металоємний вузол — балка осі причепа, яка є складовою пружинної підвіски. Це дозволяє знизити загальну металоємність причепа більш ніж на 10 кг.

Для оцінки потенційної економічної вигоди від впровадження торсіонної підвіски проведено розрахунок витрат на матеріали та виготовлення основних елементів підвіски, які змінюються у порівнянні з базовою конструкцією.

Будь-яка підвіска транспортного засобу включає три ключові складові: пружний елемент, напрямний пристрій та амортизаційний (гасильний) пристрій. При переході на торсіонну підвіску найбільші зміни відбуваються у пружному елементі та напрямному пристрої, оскільки балка осі виключається із конструкції. Роль напрямного пристрою виконує торсіонна підвіска.

Розрахунок витрат на матеріали враховує масу та вартість основних конструкційних матеріалів, а також допоміжних матеріалів, зокрема зварювального дроту, який використовується при збиранні вузлів. Витрати основних матеріалів визначаються за формулою:

$$M_{осн} = \sum \frac{m_i}{k_{умі}} C_{мі} \quad (5.1)$$

де m_i – маса матеріалу, для виготовлення елемента підвіски, кг;

$k_{умі}$ – коефіцієнт використання матеріалу;

$C_{мі}$ – вартість матеріалу, грн/кг.

У таблиці 5.1 наведено порівняння витрат на матеріали пружних і напрямних елементів підвіски для проектного торсіонного варіанта та базового пружинного.

Таблиця 5.1 – Розрахунок витрат на матеріали для елементів під порівняння витрат на матеріали пружних і напрямних елементів підвіски віски

Пружні елементи підвісок								
	Проектований варіант				Базовий варіант			
Найменування та кількість елементів	два набірні торсіони з 4-х пластин;				дві циліндричні пружини стиснення			
Матеріал	полоса 5×20 сталь 60С2А				круг 11 сталь 60С2А			
Маса , кг	2,577				3,37			
Коефіцієнт використання матеріалу	0,91				0,81			
Вартість матеріалу, грн./кг	45				46,7			
Витрати на матеріал, грн.	178,42				286,14			
Напрямні елементи підвісок								
Найменування та кількість	два поздовжні важелі				чотири реактивні тяги			
Матеріал деталей напрямного пристрою	труба 48,2×6	труба 76×3,0	лист 10,0	сталь 35L	труба 20×2.0	сталь 35.0	труба 48,3×6.0	
Маса, кг	2,04	1,403	0,85	2,73	1,97	1,233	7,94	
Коефіцієнт використання матеріалу	0,90	0,86	0,61	0,77	0,91	0,61	0,86	
Вартість матеріалу, грн./кг	63,20	37,20	32,0	50,1	87,20	50,1	63,21	
Витрати на матеріал, грн	143,24	61,41	45,86	174,2	191,5	102,67	591,12	
Сума витрат, грн	524,81				1185,65			
Шарніри напрямних елементів підвісок								
Найменування та кількість	два, резинометаллический				восемь, резинометаллический			
Матеріал елемента шарніру	шайба 36	Гайка 36	Втулка	Гума	Палець 20	Шайба 18	Гайка 12	Гума
Маса , кг	0,164	0,34	0,184	0,112	1,816	0,224	0,110	0,056
Коефіцієнт використання матеріалу	-	-	0,7	-	0,81	-	-	-
Вартість матеріалу, грн./кг	61,8	219	208	488	41,8	61,8	118	488
Витрати на матеріал, грн	48	93,8	83,8	88	68	58,7	38,7	47,0
Сума витрат, грн	292,5				194,4			
Разом, грн.	$M_{осн}^{nm} = 943,7$				$M_{осн}^{\delta} = 1664, 12$			

Також враховуються витрати на допоміжні матеріали, зокрема зварювальний дріт, необхідний для зварювання вузлів підвіски. Маса та вартість зварювального дроту розраховуються за формулами: 5.2

$$M_{всн} = m_{пр} \times C_{пр} \quad (5.2)$$

де $m_{пр}$ - маса зварювального дроту, кг;

$C_{пр}$ - вартість зварювального дроту, грн./кг; для дроту діаметром 1,2 мм – 171,3 грн./кг; для дроту діаметром 1,6 мм – 164,5 грн./кг

Потрібна кількість зварювального дроту визначається за формулою 5.3

$$m_{пр} = 7,85 \frac{Lk^2}{2000}, \text{ кг} \quad (5.3)$$

де L - довжина зварного шва, см;

k - катет зварного шва, см;

Розрахунок витрат на зварювальний дріт при виготовленні вузлів проєктованого та базового варіантів підвісок наведено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 - Розрахунок витрат на зварювальний дріт

Показники		Проєктований варіант	Базовий варіант
довжина зварного шва з катетом: L , см,	2	-	55,2
	4	209,7	87,6
Маса дроту діаметром: $m_{пр}$, кг	1,2	-	0,009
	1,6	0,131	0,055
Вартість дроту діаметром: руб./кг	1,2	171,3	
	1,6	165,5	
Витрати		$M_{вс}^{nm} = 28,5$	$M_{вс}^{\delta} = 34,2$

Загальні витрати за статтею матеріали становитимуть:

за проєктованим варіантом - $M^{nm} = M_{осн}^{nm} + M_{вс}^{nm} = 734,7 + 8,5 = 972,2$ грн.

по базовому варіанту - $M^{\delta} = M_{осн}^{\delta} + M_{вс}^{\delta} = 1164,12 + 4,2 = 1698,32$ грн.

Розрахунок загальних витрат матеріалів показує, що для проєктованої торсійної підвіски сумарні витрати становлять близько 972 грн, тоді як для базової пружинної підвіски – понад 1698 грн. Таким чином, впровадження торсійної підвіски дозволяє знизити витрати на матеріали більш ніж на 40 %, що є суттєвим економічним чинником.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В результаті виконання роботи на тему «Удосконалення підвіски автомобільного причепа зменшеної металоємності» були отримані такі основні висновки.

Причепи для легкових автомобілів істотно розширюють функціональні можливості автомобілів і здобули широке застосування серед приватних користувачів та підприємців. Вони забезпечують можливість перевезення додаткових вантажів або вантажно-пасажирських комплектів, що підвищує гнучкість і зручність при транспорті різних предметів і матеріалів.

Сьогодні на ринку України представлено багато вітчизняних виробників автопричепів, серед яких «АвтоКрАЗ», «Подільська кузня», «Купава», «Амтел-Вектор», «Автостен» та інші. У більшості випадків причепи оснащені підвісками, які є аналогами або близькими за конструкцією до підвісок, що використовуються на легкових автомобілях. Це забезпечує уніфікацію деталей, спрощує ремонт і технічне обслуговування завдяки можливості використання спільних запчастин.

Водночас, з метою зниження вартості виробництва та підвищення надійності, деякі виробники застосовують спрощені конструкції окремих вузлів або впроваджують нові типи підвісок, які не мають аналогів на легкових автомобілях. Такі рішення продиктовані специфічними вимогами до конструкції причепа, його розмірами, вантажопідйомністю та іншими експлуатаційними характеристиками.

Спеціалізовані підвіски розробляються для забезпечення оптимальної роботи в умовах перевезення вантажів, покращення стабільності, маневреності та комфорту руху. Виробники проводять відповідні дослідження і випробування, що гарантує високу якість та надійність нових конструкцій.

Таким чином, хоча в деяких випадках використовуються нестандартні підвіски, це переважно зумовлено прагненням оптимізувати вартість та функціональні можливості причепа з урахуванням його специфіки.

У роботі проаналізовано доцільність використання причепів для легкових автомобілів, проведено огляд ринку, а також виконано порівняльний аналіз різних типів підвісок. Визначено найбільш популярні моделі причепів та їхніх виробників в Україні. Окремо розглянуто особливості конструкції і роботи підвісок зменшеної металоємності для автотранспортної техніки.

Визначено причіп, обраний для модернізації, та запропоновано шляхи удосконалення його підвіски. Зокрема, показано, що істотне зниження трудомісткості та металоємності причепа можна досягти шляхом заміни пружинної залежної підвіски, яка застосовується нині, на торсіонну незалежну підвіску.

В роботі виконано удосконалення конструкції підвіски, визначено початкові дані для розробки торсіонної підвіски, проведено її розрахунок і описано конструкцію модернізованої системи.

Оснащення причепа торсіонною підвіскою дозволяє знизити висоту завантаження, опустити центр мас причепа, покращити його стійкість на дорозі під час руху на високих швидкостях, а також зменшити металоємність і підвищити надійність конструкції.

У результаті роботи розроблено конструкцію торсіонної підвіски для причепа «ПГМФ-8232», яка за пружними характеристиками повністю відповідає пружинній підвісці аналогічного причепа.

Економічний розрахунок показав, що впровадження торсіонної підвіски дозволить знизити вартість матеріалів на 726,20 гривень, що в 1,7 раза менше у порівнянні з базовим варіантом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антощенко В. М. Трактори та автомобілі. Ч. 4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання. Харків: ХНАДУ, 2016. 164 с.
2. Auto.Ria – онлайн-платформа з продажу автомобілів і причепів. URL: <https://auto.ria.com/uk/> (дата звернення: 25.04.2025).
3. Prom.ua – маркетплейс із продажу автомобільних причепів. URL: <https://prom.ua/> (дата звернення: 25.04.2025).
4. Avtopricer.ua – інтернет-магазин автомобільних причепів. URL: <https://avtopricer.ua/> (дата звернення: 25.04.2025). Бойко М. Ф. Трактори та автомобілі. Ч. 2. Електрообладнання. Київ: Вища школа, 2011. 180 с.
5. ПГМФ – офіційний сайт виробника автомобільних причепів. URL: <http://pgmf.com.ua/> (дата звернення: 25.04.2025).
6. Хімка С. М., Магац М. І., Шевчук В. В., Сукач О. М. Автомобілі. Частина 1 «Загальна будова і трансмісія автомобіля». Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти з спеціальності 274 «Автомобільний транспорт». Львів, 2022. 88 с.
7. Хімка С. М., Магац М. І., Шевчук В. В., Сукач О. М., Рубан Д. П. Автомобілі. Частина 2 «Ходова частина і органи керування автомобіля». Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти з спеціальності 274 «Автомобільний транспорт». Львів, 2022. 88 с.
8. Білоконь Я. Ю., Окоча А. І., Войцехівський С. О. Трактори та автомобілі. Київ: Вища освіта, 2003. 560 с.
9. Кісліков В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: підручник. 6-те видання. Київ: Либідь, 2006. 400 с.
10. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів: підручник. Київ: Каравела, 2008. 400 с. ISBN 966-96331-1-7.

11. Electude. Автомобільні основи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://lnau.electude.su/bundle_17945301 (дата звернення: 21.05.2025).
12. Шевчук Р. С. Трактори і автомобілі: основи теорії (питання, завдання та відповіді): навчальний посібник. Львів: ЛНАУ, 2016. 236 с. – Режим доступу: <http://gnth.gov.ua> (дата звернення: 21.05.2025).
13. ДСТУ 14959-2009. Сталь конструкційна легована та інструментальна. Загальні технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2009. 56 с.
14. Jazar R. N. Vehicle Dynamics: Theory and Application. Cham: Springer, 2017. 550 p. ISBN 978-3-319-53510-6.
15. Gillespie T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1992. 410 p. ISBN 0-7680-0291-9.
16. Кузьменко І. В. Справочник конструктора-машинобудівника: у 3 т. Т. 1. Київ: Машинобудування, 1987. 288 с.
17. ДСТУ 12.1.004-01 ССБТ. Пожежна безпека. Загальні вимоги. Київ: Видавництво стандартів, 2002. 22 с.
18. Лехман С. Д., Целінський В. П., Козирев С. М. Довідник з охорони праці в сільському господарстві: запитання і відповіді. Київ: Урожай, 1998. 400 с.
19. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 2008. 267 с.
20. Мельник Л. Г. Економіка енергетики: навчальний посібник. Суми: ВТД «Університетська книга», 2012. 238 с.