

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри

Дідур В.В.

“ ” 2026 р.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт)
перший (бакалаврський)
(освітній рівень)

на тему **«Проектування підвіски ходової системи з метою рекуперації енергії»**

Виконав: студент 3 курсу, групи 33к-ім

Спеціальність Н7

«Агроінженерія»

Іван КРАМАР

(прізвище та ініціали)

Керівник Андрій ВОЙТІК

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	7
1.1. Види підвісок та амортизаторів автомобілів	7
1.2. Способи отримання регенеративної енергії на транспортних засобах .	11
1.3. Існуючі схеми регенеративних підвісок	11
1.4. Висновки і завдання досліджень	15
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА РЕГЕНЕРАТИВНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО АМОРТИЗАТОРА ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ	17
2.1. Опис системи та принцип роботи	17
2.2. Вибір гідравлічного двигуна, електричного генератора та електричної батареї	20
2.3. Висновки	26
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ	27
РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	31
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Підвіска ходової частини — невидимий, але вирішальний елемент будь-якого рухомого механізму: від легковика до потужного тракторно-польового агрегату. Вона приймає на себе удари дорожнього й ґрунтового рельєфу, визначає комфорт водія, зберігає керованість і безпеку руху, а для сільського господарства — безпосередньо впливає на продуктивність та знос техніки. У час, коли поля стають важчими через великі причіпні навантаження, а дороги — все більш навантаженими, роль підвісок набуває стратегічного значення: від економії пального й витрат на сервіс до збереження врожаю й здоров'я операторів.

Сучасні рішення в підвісках поєднують традиційну надійність із передовими технологіями: незалежні системи, поліуретанові елементи, гідропневматичні блоки й електронне регулювання жорсткості — усе це дозволяє адаптувати машину до конкретних умов експлуатації й завдань. Але технічний прогрес не замінює професіоналізму: вибір конструкції, технічне обслуговування й правильна експлуатація залишаються ключем до довговічності та безпеки. Ця робота присвячена аналізу конструктивних рішень, їх впливу на експлуатаційні показники та ролі підвісок у забезпеченні ефективності автотранспорту й сільгоспмашин у сучасних умовах виробництва.

Сучасні технології підвісок, що підвищують експлуатаційні характеристики (комфорт, керованість, ресурси, продуктивність):

1. Адаптивні (змінної жорсткості) амортизатори
 - Електронне регулювання демпфування в реальному часі залежно від швидкості, рельєфу й режиму роботи — кращий контакт коліс із поверхнею, менше коливань.
2. Пневматична підвіска
 - Регулювання кліренсу й пружності, автоматичне вирівнювання при навантаженні — зменшує тягові втрати, покращує комфорт і прохідність; часто застосовується у вантажівках і комбайнах.
3. Гідропневматична підвіска

- Комбінація рідини й газу дає плавнішу амортизацію, самонівелювання; корисна для техніки з великою варіативністю навантажень.
4. Активна підвіска (Active)
 - Використовує актуатори для активного гасіння коливань і компенсування кренів — максимальна стабільність та керованість (переважно в автомобілях високого класу та дослідних агромашинах).
 5. Напівактивна підвіска (Semi-active)
 - Менше енергії, ніж у повністю активній: вмикає/змінює характеристики (клапани, магнітореологічні рідини) за сигналом ECU — баланс ефективності й енерговитрат.
 6. Магнітореологічні та електромагнітні демпфери (Magnetic Ride)
 - Швидке змінення в'язкості робочої рідини під дією маг. поля — миттєвий відгук на дорожні умови.
 7. Електронне управління підвіскою та інтеграція з ESP/ABS/крейсер-контролем
 - Координація систем безпеки й трансмісії для оптимальної динаміки, економії палива і зниження зносу.
 8. Прогнозна/інтелектуальна підвіска з сенсорами й AI
 - Використовує камери, LIDAR, GNSS і алгоритми для прогнозування нерівностей і підготовки підвіски за частки секунди — корисно для високопродуктивних посівних/збиральних агрегатів.
 9. Центральні системи підкачки шин та моніторинг тиску (CTIS, TPMS)
 - Регулювання тиску під час руху для оптимального зчеплення та мінімізації ущільнення ґрунту; телеметрія — економія палива й знос шин.
 10. Незалежні підвіски для мостів і багатоважільні конструкції
 - Покращують контакт коліс із поверхнею, керованість і розподіл навантажень на раму, знижують динамічні навантаження на агрегати.
 11. Покращені матеріали та елементи (полиуретан, композити)
 - Заміна гумових сайлентблоків на поліуретан або використання легких високопрочних матеріалів — довший ресурс і точніша геометрія підвіски.

12. Системи активного антикрену та регульовані стабілізатори поперечної стійкості

- Зменшують вилягання і ризик перекидання при маневрах і на схилах — важливо для сільгосптехніки з високим центром маси.

13. Підвіска кабіни і сидінь з адаптацією до вібрації

- Захист оператора від вібрацій і ударів (гідравлічні підвіски кабіни, активні сидіння) — підвищує продуктивність і безпеку праці.

14. Система телеметричного моніторингу стану ходової частини

- Датчики навантаження, зносу, температури підшипників, вібрації — прогнозне обслуговування, зниження простоїв.

Практичні вигоди для агросектора:

- Менше ущільнення ґрунту (регулювання тиску шин, кліренсу), краща стабільність агрегатів при дозовій роботі, менші втрати при транспортних операціях, підвищення комфорту оператора і зниження травматизму, економія палива й зниження експлуатаційних витрат завдяки прогнозованому обслуговуванню.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1. Види підвісок та амортизаторів автомобілів.

Функціональні задачі підвіски.

Підвіска – це сукупність деталей, вузлів та механізмів, яка виконує роль з'єднувального елемента між автомобілем та колесами та входить до складу шасі. Забезпечує відносний рух між ними, необхідний для зменшення динамічних навантажень, що виникають під час переміщення автомобіля по дорозі [2].

Головною функціональною задачею підвіски є її здатність гасити коливання, що виникають під час руху автомобіля. Результатом зменшення коливань є підвищення комфорту водія (пасажира), а також підвищення керованості транспортного засобу. Для виконання вищевказаних умов до функцій підвіски відносимо:

- передача на несучу систему сил та моментів, які виникають при взаємодії коліс з дорогою;
- забезпечення необхідного характеру роботи кінематики переміщення коліс відносно кузова чи рами;
- передача крутного моменту колесам від силового агрегату;
- фізичне з'єднання коліс або нерозрізних мостів з несучою системою;

Відповідно до призначення, елементи класифікують на декілька груп:

- пружні елементи – металічні (торсіони, ресори, пружини) і неметалічні (поліуретанові, резинові, пневматичні та гідропневматичні) які сприймають нормальні сили;
- опори колеса – поворотні кулаки (на передній осі), які сприймають навантаження від колеса та передають його на інші частини підвіски;
- напрямні елементи – елементи підвіски в вигляді поперечних та поздовжніх важелів, які з'єднують підвіску з несучою системою;

- амортизатори – агрегати, що мають пневматичну, гідравлічну або гідропневматичну будову і призначені для поглинання коливань несучої системи, отриманих від пружних елементів;

- елементи кріплення деталей, вузлів і агрегатів підвіски – це засоби з'єднання елементів підвіски між собою та несучою системою – жорсткі болтові з'єднання, сферичні шарніри, сайлентблоки.

Класифікація видів підвіски, що використовуються на транспортних засобах [3].

Підвіска на поперечній ресорі – простий та дешевий варіант підвіски в якому поперечна ресора грає роль пружного і направляючого елемента одночасно. Цей вид підвіски використовувався в перших десятиліттях розвитку машинобудування, однак з підвищенням швидкісних характеристик автомобілів перестав застосовуватись. Конструктивно складається із нерозрізної балки (моста) і розміщеної над ним напівеліптичної ресори. В підвісці ведучого моста виникала необхідність розміщення масивного редуктора, тому поперечна ресора нагадувала форму літери «Л».

Підвіска на поздовжній ресорі – напевно найстаріший варіант підвіски. В такому типі підвіски балка мосту закріплена на двох поздовжньо-орієнтованих ресорах. Міст може бути як ведучим, так і веденим, та знаходитись над або під ресорою. Передня частина поздовжньої ресори окрім нормальних сил сприймає бокові і поздовжні сили реакції дороги, виконуючи функцію важеля підвіски, що визначає її кінематику. З точки зору кінематики підвіска на поздовжніх ресорах працює, як підвіска на двох гнучких поздовжніх важелях, довжина яких рівна відстані між переднім кріпленням ресори і точкою кріплення моста на ній. Ресора (в класичному вигляді) представляє собою пакет пружних металічних листів, з'єднаних хомутами, що обмежують поперечне переміщення листів ресори один відносно одного при роботі підвіски [4].



Рисунок 1.1. Підвіска на поздовжніх ресорах.

Підвіска з напрямними важелями – вид підвіски, в якому за закріплення та рух відносно кузова відповідає цілий набір важелів. Існує достатньо багато варіантів виконання даного типу підвіски, але найбільш поширеним є варіант з чотирьох важелів. Її головними перевагами є жорстко закріплені важелі і чітко визначена кінематика переміщення мосту відносно шасі. Більш короткі важелі розміщують під конструктивно визначеним кутом до поздовжньої осі. З цієї причини задній міст «підрулює» в сторону повороту, зменшуючи тенденцію автомобіля до надлишкової керованості. Подібного ефекту можна досягти заміною пари верхніх важелів на один трикутний – така конфігурація покращує поведінку підвіски при русі по нерівному покриттю.

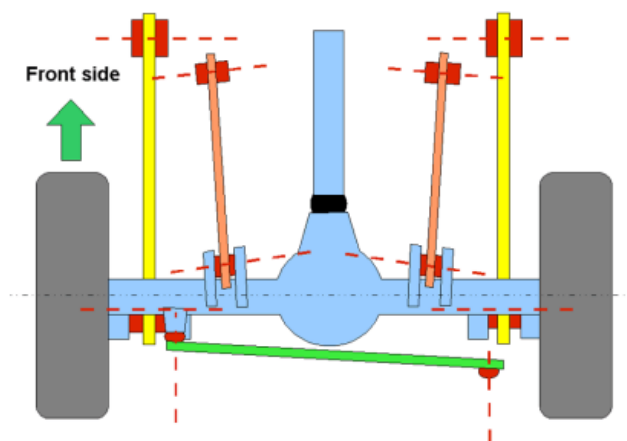


Рисунок 1.2. Підвіска з напрямними важелями.

Торсіонно-важільна підвіска – напівзалежна підвіска задніх коліс передньопривідного автомобіля, яка конструктивно складається з двох поздовжніх важелів, які з'єднані з поперечиною, разом з якою вони утворюють пружну Н-подібну балку.

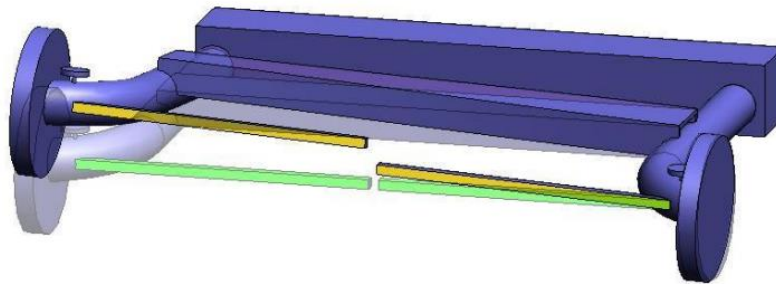


Рисунок 1.3. Приклад торсіонно-важільної підвіски.

Підвіска на поздовжніх важелях – конструктив даного типу підвіски полягає в тому, що кожне колесо однієї осі закріплено на поздовжньому важелі, який є рухомим відносно рами чи кузова. Цей вид підвіски є простим, але не ідеальним. При роботі такої підвіски в досить таки значних межах змінюється колісна база, а під час повороту колісна база зліва та справа буде відрізнятися внаслідок крену кузова. При проходженні повороту колеса змінюють положення разом з кузовом і істотно більше, ніж в інших конструкціях підвісок, що погіршує бічне зчеплення шин з дорогою таким чином, що передавати великі значення бічних сил така підвіска не здатна і, відповідно, високі параметри стійкості і керованості з нею недосяжні. Поздовжні важелі сприймають сили, що діють у всіх напрямках, піддаючись високим навантаженням на скручування і згинання, тому їх конструктивно неможливо зробити легкими, не втрачаючи жорсткості.

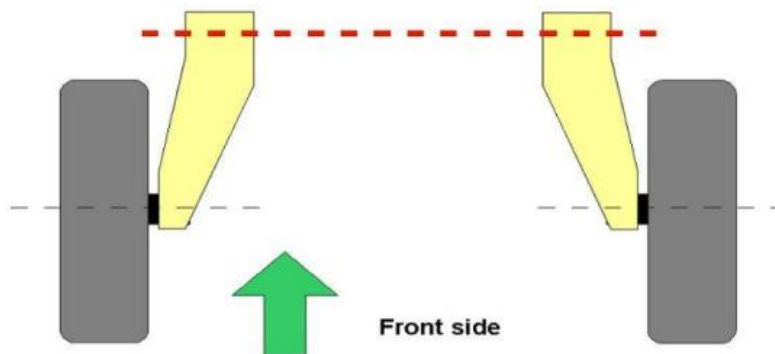


Рисунок 1.4. Підвіска на поздовжніх важелях.

1.2. Способи отримання регенеративної енергії на транспортних засобах.

Ідея регенерації розсіяної енергії в корисну електричну енергію існує вже давно, і часто вібрації розсіюються у формі теплової енергії. Ідея полягає в тому, щоб використовувати кінетичну енергію в навколишніх коливаннях і регенерувати її в електричну енергію. Три найбільш відомі методи досягнення цього – електростатичний, п'єзоелектричний та електромагнітний. Електростатичні перетворювачі працюють завдяки зміні відстані перекриття між двома електродами поляризованого конденсатора, коли система піддається вібрації. Рух викликає зміну напруги всередині конденсатора і, таким чином, створює струм, який можна вилучити за допомогою зовнішнього ланцюга [5].

П'єзоелектричні перетворювачі використовують зовнішні коливання для деформації п'єзоелектричної кераміки, викликаючи виникнення напруги в конденсаторі і тим самим генерується електроенергія.

Електромагнітні перетворювачі використовують відносний рух між магнітом і котушкою, щоб змінити магнітний потік у системі. Це генерує змінний струм і напругу на котушці.

Хоча показано, що п'єзоелектричний метод перетворення механічної енергії в електричну дуже ефективний, його застосування для систем підвіски транспортних засобів ще належить ретельно перевірити. Найбільший прогрес в п'єзоелектриці досягнутий у мікроскопічних застосуваннях.

Порівняно з п'єзоелектричними та електростатичними методами використання, існує багато літератури, в якій розглядається використання електромагнітних перетворювачів у системах підвіски транспортних засобів.

1.3. Існуючі схеми регенеративних підвісок.

Гвинтовий електромагнітний збирач енергії.

В [5] запропоновано гвинтовий електромагнітний демпфер для регенерації енергії з активної системи підвіски кабіни вантажівки, а потім використання цієї

енергії для живлення системи, таким чином роблячи її повністю автономною. У статті обговорюється можливість автономного живлення системи шляхом вивчення балансу між регенованою та спожитою енергією цієї системи. Модель електромагнітного демпфера, використана для цього дослідження, складається з двигуна постійного струму, гвинта та гайки (рис. 1.5). Лінійні рухи амортизаційної системи, спричинені вібраціями навколишнього середовища, перетворюються на обертальний рух за допомогою гвинтової конструкції та гайки. Обертальний рух передається в електродвигун і індукуює напругу, яка генерує струм, який зберігається в електричному двошаровому конденсаторі як електрична енергія.

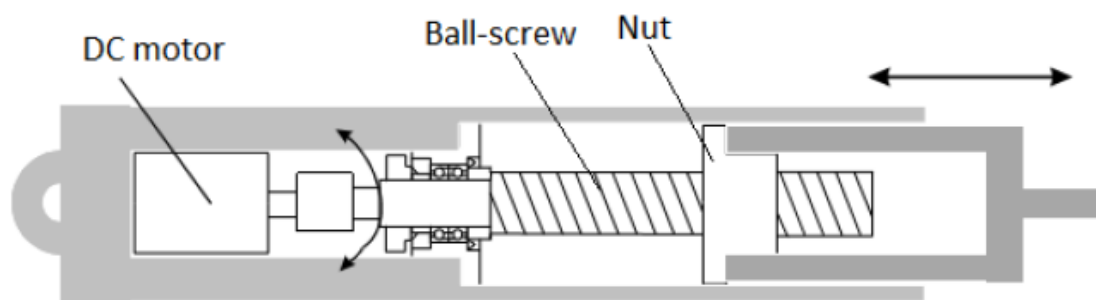


Рисунок 1.5. Гвинтовий електромагнітний збирач енергії.

Енергогенераторний амортизатор і приводи, розташовані на передній і задній підвісках вантажівки, підключені до одного конденсатора через релейні перемикачі. Схеми, що з'єднують приводи, містять змінні резистори, які керуються зовнішнім комп'ютером. Це дозволяє контролювати електричний струм, щоб отримати необхідну безперервну силу двигуна, що робить систему амортизації повністю активною. Проведене моделювання показало, що середня регенована та поглинена енергія протягом 20 секунд становила 31,63 Вт та 55,39 Вт відповідно. Це дало ефективність 36 %. Ці значення були отримані в припущенні, що втратами енергії в змінному резисторі нехтують. При аналізі вихідної потужності приводів під час живлення від регенованої енергії було показано, що приводи добре дотримуються бажаної вихідної сили, за винятком випадків, коли зовнішні сили в системі стали занадто великими. Це призводить до погіршення ефективності ізоляції. Було зроблено висновок, що причиною недостатньої вихідної сили є

недостатня напруга на конденсаторі, недостатньо підвищена регенеруючим демпфером.

Рейковий електромагнітний амортизатор.

В [6] запропонували використовувати електромагнітний амортизатор із рейковим механізмом. Принципова конструкція амортизатора передбачає використання рейки для перетворення лінійного руху в обертальний (рис. 1.6).

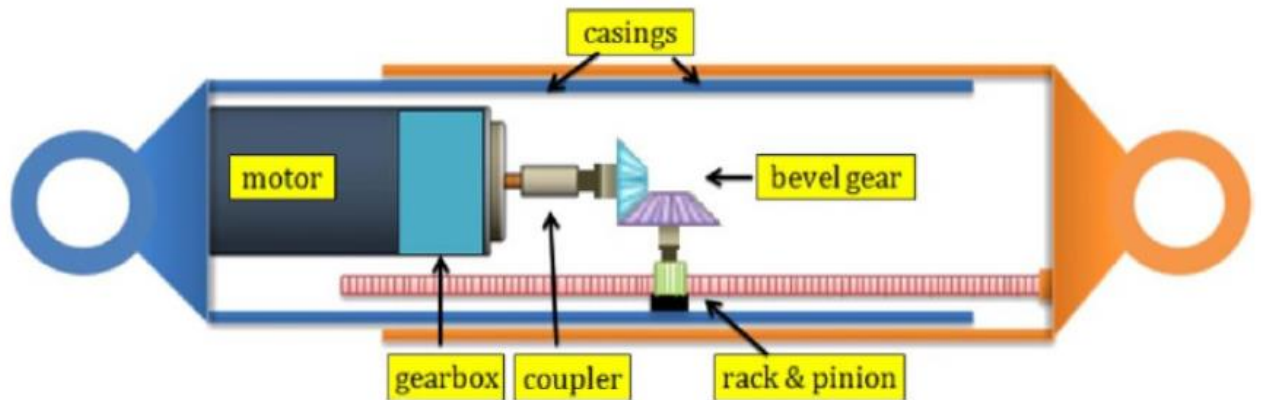


Рисунок 1.6. Рейковий електромагнітний амортизатор.

З використанням конічної передачі передача обертального руху змінюється на 90° , і обертання може бути передано двигуну через планетарну передачу. Якщо передавальне відношення вибрано високим, система може досягти високого коефіцієнта демпфування, але це обмежено тим фактом, що велике передавальне відношення призводить до низької ефективності передачі. Вибір шестерень дуже важливий, оскільки вони часто є причиною поломки не лише через втому, але й через те, що шорсткість на зубцях може перешкоджати регенерації. У системі також присутній вплив тертя та люфту. Щоб зменшити це, у статті пропонується ролик, який направляє стійку. Для подальшого зменшення тертя між внутрішнім і зовнішнім циліндрами також використовували кільця. У статті як генератор використовувався двигун постійного струму на постійних магнітах. Було проведено стендові випробування, і було виявлено, що кількість відновленої потужності залежить від частоти вібрації та електричного навантаження від ланцюга зарядки живлення. Потім систему встановили в позашляховик Chevrolet Suburban (модель 2002 року) і провели дорожні випробування на асфальтованій

дорозі зі швидкістю 48 км/год і електричним навантаженням 30 Ом. Збирач енергії з рейковою шестернею мав пікову потужність 67,5 Вт і середню потужність 19,2 Вт із загальною ефективністю перетворення енергії до 56 %.

Гідравлічний електромагнітний регенеративний демпфер.

Як гвинтовий механізм, так і механізм із рейковою шестірнею, коли вони використовуються в амортизаторах з регенерацією енергії, змушують напрямок обертання генератора постійно змінюватися залежно від того, стискається чи розширюється амортизатор. Ця постійна зміна напрямку обертання має негативний вплив на генератор і може бути причиною поломки в довгостроковій перспективі. Генератор у цій системі приводиться в рух гідравлічною рідиною та має постійний напрямок обертання незалежно від того, чи піддається він стисненню чи розширенню.

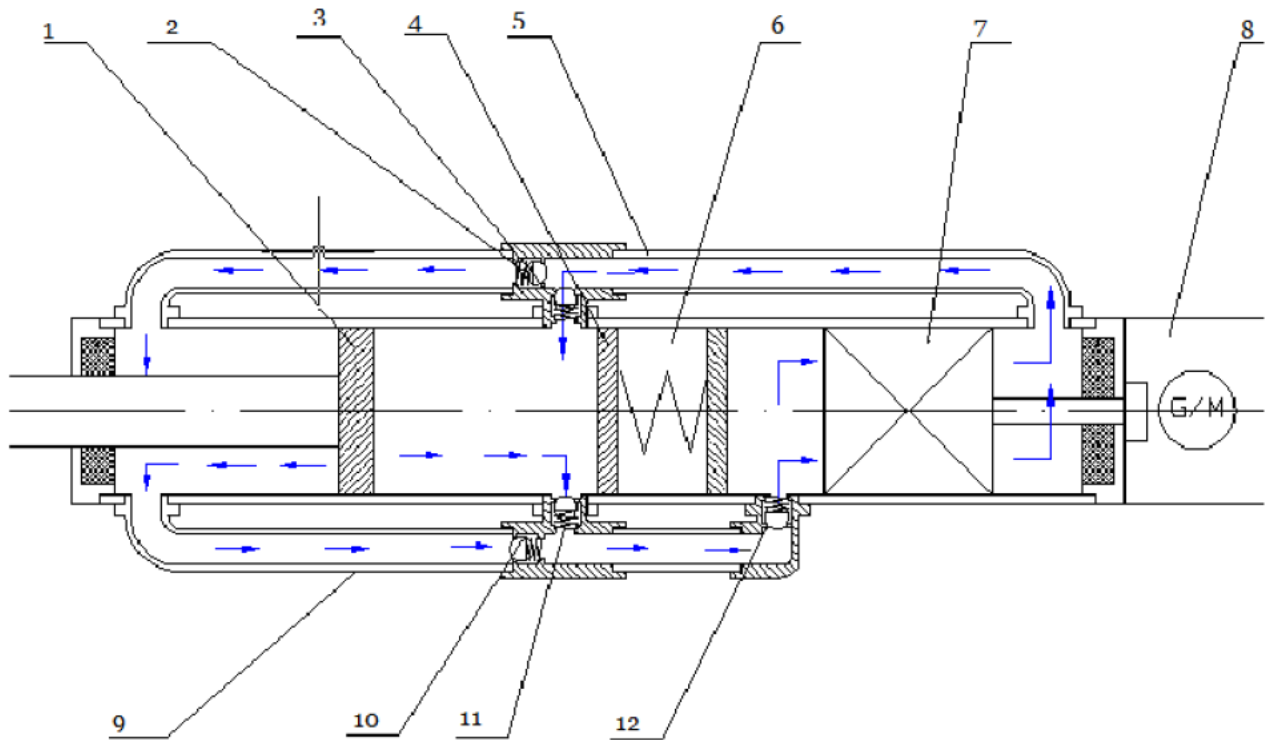


Рисунок 1.7 Гідравлічний електромагнітний регенеративний демпфер.

Коли ця система піддається стиску, поршень (1) (рис. 1.7) разом із пластиною (4) створює достатній тиск у робочій порожнині поршня, щоб проштовхнути гідравлічну рідину через зворотний клапан (11) і пройти через трубу високого тиску (9), поки не досягне іншого зворотного клапана (12). Через цей клапан рідина

потрапляє в порожнину, що виробляє електроенергію, де вона за допомогою акумулятора енергії (6) приводить в рух гідромотор (7), який, у свою чергу, приводитиме в рух електрогенератор (8). Саме під час цієї фази виникає сила реакції від електродвигуна змушує гідравлічний двигун виробляти амортизуючу силу для рідини, яка є більшою частиною амортизаційної сили амортизаторів. Після проходження через гідромотор рідина проходить через трубу низького тиску (5) до зворотних клапанів (2) і (3). Цей процес гарантує, що потік рідини завжди рухається в одному напрямку під час проходження через порожнину, що генерує електроенергію, що, у свою чергу, змушує електрогенератор мати постійний напрямок обертання.

При проведенні експериментів з цією системою виявили, що вона, незважаючи на багатообіцяючий дизайн і вражаючі результати моделювання, виявилася відносно неефективною. Експеримент показав, що система відновила лише 16,5 % вібраційної енергії, якій вона піддавалася. Розробляючи систему, автори спочатку не враховували лінійні втрати. Звіт показав, що лінійні втрати оливи становлять 1/3 загальної енергії. Однак, виходячи з математичної моделі цих втрат, їх можна суттєво зменшити шляхом збільшення внутрішнього діаметра трубопроводу. Незважаючи на те, що основною метою цієї системи було зменшення втрат енергії в генераторі через постійну зміну енергії обертання, звіт показав, що 21,1% енергії було втрачено в гідравлічному двигуні та генераторі.

1.4. Висновки і завдання досліджень.

Аналіз літературних джерел показав, що дослідження спрямовані на отримання електричної енергії від коливань транспортного засобу через його підвіску є актуальними. А найбільш перспективними є дослідження гідроелектричної підвіски. Тому метою даної роботи є розробка вдосконаленого регенеративного гідравлічного амортизатора підвіски автомобіля.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Дослідити існуючі типи підвісок транспортних засобів.

2. Дослідити існуючі схеми регенеративних підвісок.
3. Розробка регенеративного гідравлічного амортизатора підвіски автомобіля.
4. Розглянути стан охорони праці при виконанні транспортних робіт.
5. Провести обґрунтування отриманих результатів.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА РЕГЕНЕРАТИВНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО АМОРТИЗАТОРА ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

2.1. Опис системи та принцип роботи.

Принципова схема системи регенеративного гідравлічного амортизатора наведена на рисунку 2.1.

Система регенеративного гідроамортизатора складається з: гідроакумулятора низького тиску, гідроциліндра подвійної дії (який з'єднаний з валом і шасі автомобіля), чотирьох зворотних клапанів, двох регулюючих клапанів, гідроакумулятора високого тиску, гідродвигуна, електрогенератора, акумулятора [1]. Гідроциліндр подвійної дії містить поршень, поршневий шток і дві торсійні пружини, які служать для центрування і повернення поршня в нейтральне положення. Для кращого розуміння принципу роботи системи регенеративного гідравлічного амортизатора на рисунку 2.1 показано чотири лінії різними кольорами. Сині лінії представляють гідролінії та резервуари для рідини низького тиску, червоні лінії представляють гідролінії та акумулятори з рідиною під високим тиском, подвійні чорні лінії представляють механічне з'єднання між компонентами, а фіолетові лінії представляють електричні компоненти генератора/батарей.

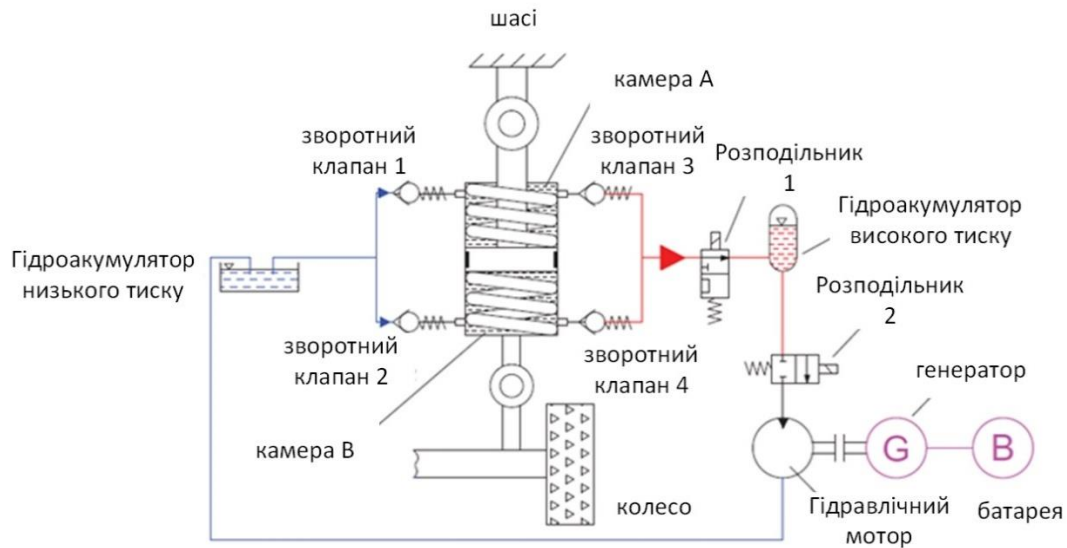


Рисунок 2.1. Принципова схема регенеративного гідроамортизатора.

Існує два режими роботи системи регенеративного гідравлічного амортизатора, які залежать від напрямку, в якому діє сила. Коли автомобіль виїжджає на нерівну дорогу або натрапляє на перешкоду, тоді сила, що діє на колесо, діє в напрямку, протилежному силі тяжіння. Стан системи для цього напрямку сили показано на рисунку 2.2 а.

Сила, що виникає в результаті взаємодії з нерівною дорогою, діє на колесо і вал, до якого воно приєднане. Вал механічно з'єднаний з корпусом циліндра, а зусилля передається від колеса до регенеративної підвіски. Сила викликає відносне зміщення корпусу циліндра відносно поршня та поршневого штока, які з'єднані з шасі автомобіля. У камері циліндра «А» відбувається збільшення робочого об'єму і перепад тиску, що викликає відкриття зворотного клапана 1. У камеру циліндра «А» подається рідина по гідролінії низького тиску з гідробаку. У камері циліндра «Б» відбувається підвищення робочого тиску і зменшення робочого об'єму (компресія). Підвищення тиску в камері «Б» викликає відкриття зворотного клапана 4 і рідина заповнює гідроакумулятор високого тиску. У той же час, коли зворотні клапани 1 і 4 відкриваються і рідина починає текти, високий тиск рідини з камери циліндра «В» утримує зворотні клапани 2 і 3 закритими. У запропонованій системі робоча рідина накопичується в гідроакумуляторі високого тиску (при включеному регулюючому клапані 1 і вимкненому регулюючому клапані 2, як

показано на рис. 2.1), а потім використовується для обертання гідромотора. протягом обмеженого проміжку часу, доки не спорожниться гідроаккумулятор. Теоретично, гідроциліндр може приводити в рух гідромотор безпосередньо, і тоді акумулятор високого тиску допоможе заповнити втрату робочої рідини. У цьому випадку параметри циліндра та гідравлічного двигуна необхідно узгодити, щоб циліндр міг досягти достатнього потоку рідини для приводу гідравлічного двигуна. Потік рідини з гідроаккумулятора високого тиску через гідромотор викликає обертання вихідного вала двигуна. У цьому випадку регулюючий клапан 1 вимикається, і рідина з гідроциліндра повертається в бак низького тиску, тоді як регулюючий клапан 2 тепер увімкнено, щоб забезпечити потік рідини від акумулятора високого тиску до гідродвигуна. Гідравлічний двигун приводить в обертання генератор, який виробляє електроенергію, яку можна зберігати в електричній батареї. Отримана таким чином енергія є безкоштовною та відновлюваною та може використовуватися для живлення допоміжного обладнання автомобіля.

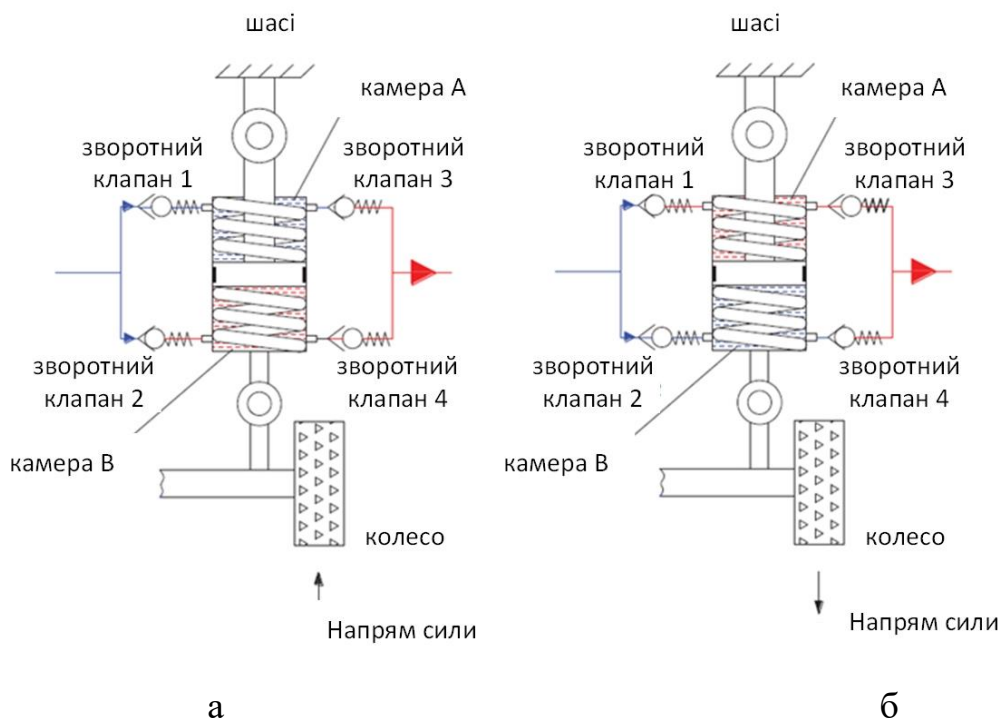


Рисунок 2.2. Принцип роботи регенеративного гідравлічного амортизатора для двох різних напрямків, у яких діє сила: а) напрямом, протилежний гравітації, б) напрямом сили тяжіння.

У другому режимі роботи транспортний засіб може зіткнутися з ямою на дорозі, і тоді маса коліс і всіх деталей, які з'єднані з ними, буде діяти в напрямку сили тяжіння. Стан системи з силою, що діє в цьому напрямку, показано на рисунку 2.2 б. Маса колеса і з'єднані з нею частини в цьому випадку викликають зміщення корпусу циліндра відносно поршня, який з'єднаний з шасі транспортного засобу. У камері циліндра «В» відбувається падіння тиску і відкривається зворотний клапан 2. Завдяки збільшенню об'єму і падінню тиску в камері «В» гідравлічна рідина починає надходити з бака низького тиску в сторону камери «В». У камері циліндра «А» відбувається підвищення робочого тиску і зменшення робочого об'єму (компресія). Підвищення тиску в камері «А» викликає відкриття зворотного клапана 3 і рідина заповнює гідроаккумулятор високого тиску. У той же час, коли зворотні клапани 2 і 3 відкриваються і рідина починає перетікати, високий тиск рідини з камери циліндра «В» утримує зворотні клапани 1 і 4 закритими. Принцип дії гідромотора та процес отримання електроенергії в електродвигуні акумулятор такий же, як і в попередньому режимі роботи.

2.2. Вибір гідравлічного двигуна, електричного генератора та електричної батареї.

У цьому розділі представлено методологію вибору трьох важливих компонентів пропонованої регенеративної системи: гідравлічного двигуна, електричного генератора та електричної батареї. Гідродвигуни - це робочі органи (приводи), які перетворюють гідравлічну енергію в механічну і створюють обертовий рух. Щоб вибрати гідромотор, необхідно розрахувати приблизний потік гідравлічної рідини від регенеративного пристрою, який обумовлений відносним переміщенням між гідроциліндром і гідравлічним поршнем. Щоб розрахувати приблизний потік рідини від регенеративного амортизатора, спочатку визначаються основні розміри гідроциліндра та режим руху автомобіля (або класифікують нерівності дороги).

Визначення розмірів гідроциліндра.

Креслення гідроциліндра із зазначеними розмірами (тільки основні) наведено на рисунку 2.4, а числові значення вказаних розмірів — у таблиці 2.1.

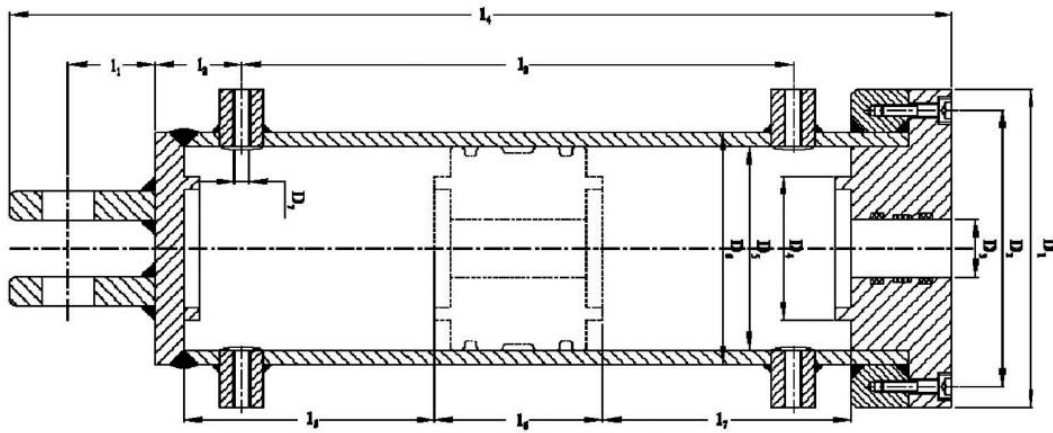


Рисунок 2.3. Основні розміри гідроциліндра.

Таблиця 2.1 Основні розміри гідроциліндра.

Розмір	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
Значення, мм	110	90	20	35	75	85	5
Розмір	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7
Значення, мм	30	30	190	325	85	58	85

Класифікація нерівностей доріг – вибір режиму водіння транспортного засобу. Міжнародна організація стандартизації (ISO) запропонувала класифікацію нерівностей доріг (класи А-Н згідно з ISO 2631–1) на основі їх нерівностей [7]. Наприклад, згідно з цією класифікацією нерівності доріг клас дороги А визначає дуже хорошу якість дороги, клас дороги С визначає середню якість дороги, а клас дороги Е визначає дуже низьку якість дороги. Графік функції нерівності дороги в термінах довжини шляху для різних класифікацій доріг ISO (використаних раніше згаданими авторами) наведено на рисунку 2.4.

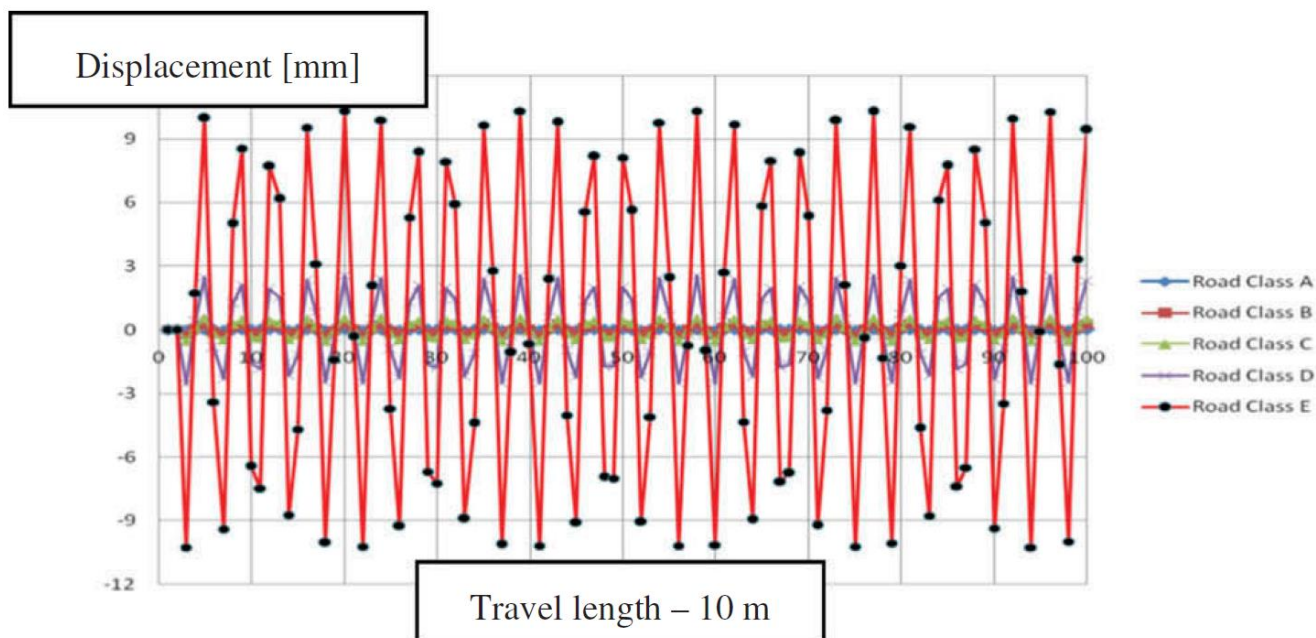


Рисунок 2.4. Нерівності дороги по класифікації ISO 2631–1.

Вибір гідравлічного двигуна.

Переміщення, мм змінного струму або електричні синхронні генератори для транспортних засобів можуть найлегше виробляти електроенергію зі швидкістю обертання щонайменше 1500 об/хв або більше. У цьому дослідженні середню робочу швидкість генератора змінного струму вибрано на рівні приблизно 2100 об/хв (дуже схоже на швидкість обертання генератора змінного струму в звичайних автомобілях). Виходячи з обраної частоти обертання синхронного генератора та розрахункової середньої витрати рідини з гідроциліндра, необхідний гідравлічний об'єм двигуна можна розрахувати за виразом:

$$V = \frac{Q}{n} = \frac{8400 \frac{\text{см}^3}{\text{хв}}}{2100 \frac{\text{об}}{\text{хв}}} = 4 \frac{\text{см}^3}{\text{об}}$$

де: n – частота обертання гідромотора, об/хв;

Q – подача гідромотора, $\text{см}^3/\text{хв}$.

Виходячи з необхідного робочого об'єму гідромотора, з каталогу виробника вибирається гідромотор фіксованого робочого об'єму. Принципова схема

шестеренного гідромотора наведена на рисунку 2.5, а дані гідромотора наведені в таблиці 2.2.

У таблиці 2.2 $p_{\max}$ – максимальний робочий тиск, $p_{\max,p}$ - максимальний піковий тиск, $n_{\max}$ - максимальна робоча швидкість обертання, $n_{\min}$ - мінімальна робоча швидкість обертання, а m — маса вибраного шестеренного гідромотора. Параметри від А до F визначають розміри входу та виходу корпусу гідравлічного двигуна.

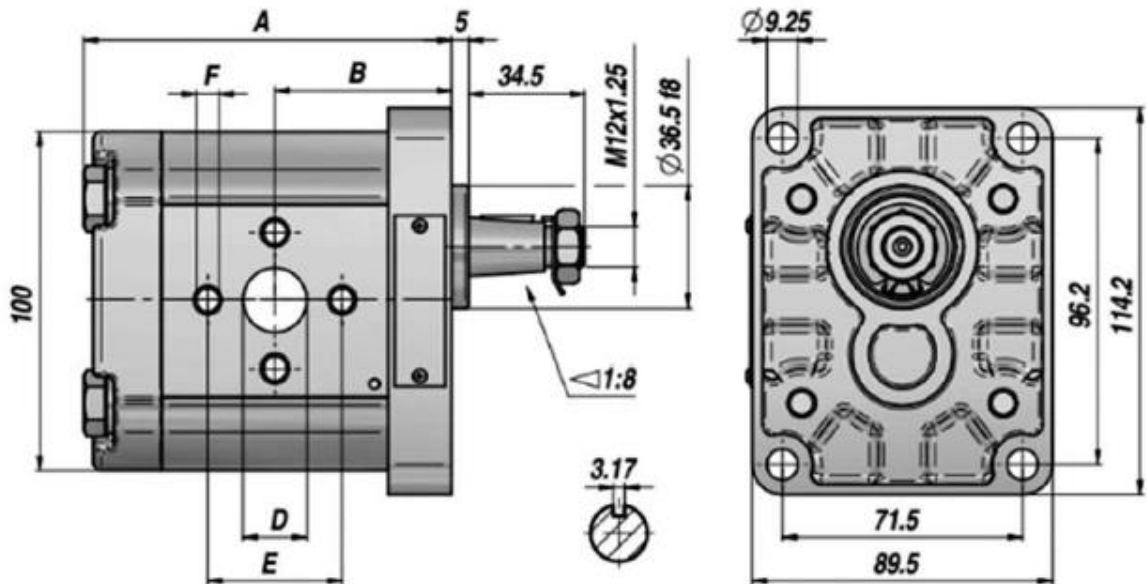


Рисунок 2.5. Принципова схема вибраного шестеренного гідромотора з фіксованим об'ємом.

Таблиця 2.2. Параметри гідравлічного мотору.

Параметр	Код	Тип	V	$p_{\max}$	$p_{\max,p}$	$n_{\max}$
Значення	MG79004	MS2-A	4 см ³ /об	230 бар	270 бар	4000 об/хв
Параметр	$n_{\min}$	A	B	Вхід	Вихід	m
Значення	500 об/хв	93 мм	44,4 мм	13x30xM6	13x30xM6	2,3 кг

Вибір електричного генератора та електричної батареї.

Електричний генератор (або генератор змінного струму) - це пристрій, який перетворює механічну енергію (в даному випадку це енергія обертання гідромотора) в електричну енергію у вигляді змінного струму. Генератори змінного струму використовуються в сучасних автомобілях для зарядки акумулятора та

живлення електричної системи, коли двигун автомобіля працює. Важливо відзначити, що тип генератора змінного струму повинен генерувати електроенергію з нерівномірною швидкістю обертання.

Теоретично можна також використовувати генератор, який вимагав би постійної швидкості обертання, але тоді слід вибрати гідравлічний двигун зі змінним об'ємом і системою керування.

Принципова схема генератора змінного струму з його основними компонентами наведена на рисунку 2.6.

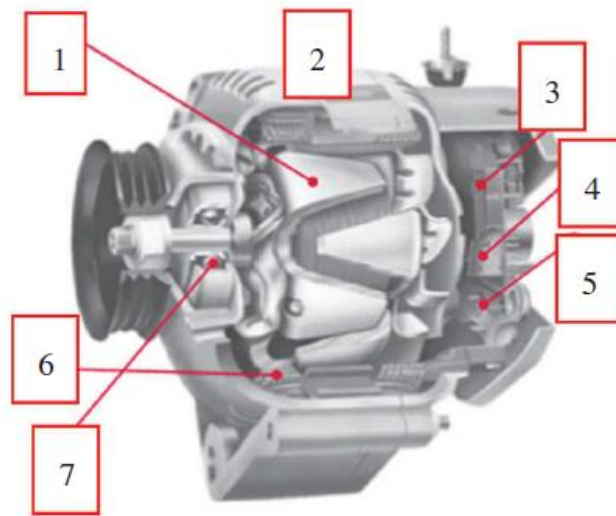


Рисунок 2.6. Основні компоненти генератора: 1 – ротор, 2 – корпус, 3 – контактне кільце, 4 – регулятор напруги, 5 – випрямляч, 6 – статор, 7 – підшипник.

Щоб правильно вибрати генератор змінного струму та електричну батарею, необхідно скласти список електричних компонентів, які використовуються в транспортному засобі як допоміжне обладнання. Після цього також необхідно визначити силу струму (споживання ампера) для кожного компонента та в цілому. Сила струму, як правило, виходить шляхом ділення ват даного електричного елемента на загальну кількість вольт, доступних від електричної розетки.

Наступним кроком є вибір електричних компонентів: генератор змінного струму (з більшою кількістю ампер, ніж оцінюється в таблиці 2.3) та електричну батарею, сумісну з вибраним генератором, щоб забезпечити довший термін служби електричної системи. Основні дані обраного генератора наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Параметри генератора

Параметр	Код	Напруга	Сила струму	Шліци	Монтажний розмір	Маса
Значення	T020009223A	12 В	140 А	6	61,7 мм	10,1 кг

Важливо відзначити, що обраний генератор містить мостовий випрямляч і регулятор напруги. Мостовий випрямляч — це вузол у вибраному генераторі, який перетворює змінний струм (АС), який генерують генератори, на постійний струм (DC), який використовується електричною батареєю автомобіля. Регулятор напруги регулює зарядну напругу, яку створює генератор змінного струму, підтримуючи її між 13,5 і 14,5 В для захисту електричних компонентів у всьому транспортний засіб.

Для безпечної роботи пристрою вибирається електрична (свинцево-аккумуляторна) батарея (сумісна з генератором змінного струму з таблиці 5). Вибраний акумулятор також дозволяє постачання електроенергії протягом певного періоду часу, коли транспортний засіб вимкнено або знаходиться в стані простою. Основні дані вибраної електричної батареї наведено в таблиці 2.4. У таблиці 2.4 ССА — це рейтинг, який використовується в акумуляторній промисловості для визначення здатності батареї запускати двигун при низьких температурах. Номінальна потужність відповідає кількості ампер, яку може видавати 12-вольтова батарея за температури $-17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 30 секунд, зберігаючи напругу щонайменше 7,2 вольта.

Таблиця 2.4. Параметри акумуляторної батареї.

Параметр	Код	Напруга	Ємність	Холодний запуск ССА	Розміри	Маса
Значення	Varta Blue Dynamic	12 В	74 Агод	680 А	175x278x190	17,9 кг

2.3 Висновки

Розроблено принципову схему регенеративного гідравлічного амортизатора підвіски автомобіля, яка дозволить генерувати електричну енергію під час руху транспортного засобу по нерівностям дороги. Для забезпечення роботи даної системи підібрано відповідне обладнання: гідроциліндр з відповідними параметрами, шестеренний гідромотор, генератор змінного електричного струму та акумуляторну батарею Varta Blue Dynamic 74 Агод.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Основні небезпеки.

При завантаженні, розвантаженні та перевезенні вантажів можуть мати такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- наїзди під час руху автомобілів, навантажувачів;
- наїзди при мимовільному русі транспортних засобів;
- падіння працюючих з висоти та на поверхні;
- падіння вантажу;
- ураження електричним струмом;
- перекидання автомобілів-самоскидів з укосів, в яри;
- термічні фактори (пожежі при наливі чи зливі палива із цистерни автомобіля);
- наявність у повітрі шкідливих речовин (пилу).

Виконання вантажно-розвантажувальних робіт, а також перевезення вантажів повинні здійснюватися відповідно до вимог Правил перевезення вантажів автомобільним транспортом в Україні, Правил улаштування та безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, ДСТУ 12.3.009. 2006, ДСТУ 12.3.020-2008 (розділ 2, пп 47, 2, 33, 34 цих Правил).

3.2. Основні правила безпеки.

Власник підприємства повинен здійснювати контроль за виконанням вимог безпеки при роботі автомобілів на об'єктах та вживати спільно з власниками підприємств і організацій, що обслуговуються, заходів для забезпечення безпеки вантажно-розвантажувальних робіт та усунення виявлених порушень.

При централізованих перевезеннях, перед тим як направити автомобілі, вантажно-розвантажувальні механізми та вантажів, що працюють на місце завантаження (розвантаження), власник підприємства зобов'язаний перевірити відповідність умов праці вимогам безпеки праці у відправників вантажу та вантажоодержувачів.

Якщо умови роботи не забезпечують безпеку вантажно-розвантажувальних робіт, забороняється направляти на місце навантаження та розвантаження автомобілі та людей до усунення недоліків.

Робота автомобілів на будівельних майданчиках, території промислових підприємств, кар'єрах тощо. допускається лише з дозволу відповідальних осіб зазначених об'єктів та після проведення з водіями цільового інструктажу відповідно до чинних нормативних актів з охорони праці.

Навантаження та розвантаження вантажів, кріплення їх та тентів на транспортних засобах, а також відкриття та закриття бортів автомобілів, напівпричепів та причепів здійснюється силами та засобами відправників вантажу, вантажоодержувачів або спеціалізованих організацій. Навантаження та розвантаження вантажів на автомобілях, обладнаних підйомно-транспортними механізмами, здійснюється водієм. Водій зобов'язаний перевірити відповідність укладання, розміщення та надійності кріплення вантажів та тентів на транспортному засобі вимогам безпеки, а у разі виявлення порушень – вимагати від особи, відповідальної за вантажні роботи, ліквідувати їх.

Способи укладання вантажів повинні забезпечувати їх стійкість, а також можливість механізованого навантаження та розвантаження. Вантаж повинен бути розміщений, а за необхідності закріплений на транспортному засобі так, щоб він:

- не створював небезпеки водію та оточуючим;
- не обмежував водію оглядовість;
- не порушував стійкість транспортного засобу;
- не закривав світлові та сигнальні прилади, а також номерні знаки.

Маневрування транспортних засобів із вантажами після зняття з них кріплення не допускається.

Вантажно-розвантажувальні роботи із застосуванням вантажопідійомних механізмів для вантажів, на які не вказані схеми стропування або зі зміщеним центром тяжіння, повинні виконуватися під керівництвом особи, призначеної наказом власника організації, яка виконує ці роботи. Вантажно-розвантажувальні роботи вантажопідійомними механізмами необхідно проводити лише за відсутності людей (в т.ч. водія) у кабіні (за винятком автомобілів-самоскидів, кабіна яких перекрита спеціальними захисними козирками) або в кузові транспортного засобу; вони повинні знаходитися поза зоною дії стріли або маневрування вантажного механізму.

У місцях виконання вантажно-розвантажувальних робіт та зоні обслуговування вантажопідійомних механізмів забороняється перебувати особам, які не мають прямого відношення до цих робіт.

Забороняється виконання будь-яких робіт з обслуговування та ремонту транспортних засобів на відстані ближче 5 м від зони дії вантажно-розвантажувальних машин.

Якщо при завантаженні та розвантаженні виникає небезпека для осіб, які виконують цю роботу, її потрібно припинити та вжити заходів щодо усунення цієї небезпеки.

3.3 Навантаження, перевезення та розвантаження вантажів.

Вантажі, що перевозяться транспортними засобами, за масою поділяються на три категорії, а за ступенем небезпеки при завантаженні, розвантаженні та транспортуванні – на чотири групи.

Вагові категорії вантажів:

- 1 категорія – масою (одного місця) менше 30 кг, а також сипучі, дрібноштучні, що перевозяться навалом тощо;
- 2 категорія – масою від 30 до 500 кг;
- 3 категорія – масою понад 500 кг.

Групи вантажів:

- 1 – малонебезпечні (будівельні матеріали, харчові продукти тощо);
- 2 – небезпечні за своїми розмірами (негабаритні);
- 3 – пилу або гарячі (цемент, мінеральні добрива, асфальт, бітум тощо);
- 4 – небезпечні вантажі згідно з ГОСТ 19433-88.

При постановці транспортних засобів під вантажно-розвантажувальні роботи повинні бути вжиті заходи, що запобігають їх мимовільному руху. Переміщення вантажів 1-ї категорії від складу до місця навантаження або від місця розвантаження до складу може бути організовано вручну, якщо відстань по горизонталі не перевищує 25 м-коду. На більшій відстані такі вантажі повинні транспортуватися механізмами та пристроями. У виняткових випадках на місцях непостійного навантаження та розвантаження допускається проводити навантаження та вивантаження вантажу масою до 55 кг (одного місця) вручну двома вантажниками.

Транспортування, навантаження та розвантаження вантажів 2-ї та 3-ї категорій на всіх постійних та тимчасових вантажно-розвантажувальних майданчиках (пунктах) мають бути механізовані.

При завантаженні кузова автомобіля навалочним вантажем він не повинен височіти над бортами кузова (стандартними або нарощеними) і розміщуватися рівномірно по всій площині кузова. Штучні вантажі, що височіють над бортами кузова, необхідно пов'язувати міцним справним такелажем (канатами, мотузками).

Забороняється користуватися металевими канатами та дротом. Ящиковий, катно-бочковий та інший штучний вантаж повинен бути укладений так, щоб під час руху (торкання з місця та крутих поворотах, різке гальмування) він не міг переміщатися по підлозі кузова. За наявності проміжків між окремими місцями вантажу слід вставляти між ними міцні дерев'яні прокладки та розпірки.

Висновок.

Розглянуто небезпечні та шкідливі виробничі фактори при завантаженні, розвантаженні та перевезенні вантажів. Та розроблено заходи з охорони праці при навантаженні, перевезенні та розвантаженні вантажів.

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для економічної оцінки розробленого регенеративного амортизатора підвіски автомобіля застосуємо методику порівняння з існуючою підвіскою автомобіля.

Теоретичні результати показують, що максимальна ефективність використання палива на 10% може бути відновлена системою підвіски транспортного засобу шляхом впровадження регенеративних амортизаторів [9]

Економічні показники, визначали відповідно до стандартної методики [10].

Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності.

Показник	Базовий варіант	Вдосконалений варіант
Марка енергетичного засобу	MAN TGS 41.400 8X4 BB CH	MAN TGS 41.400 8X4 BB CH
Номінальна потужність двигуна енергозасобу, кВт	353	353
Вартість, грн.	6400000	6500000
Річне завантаження трактора, год.	2400	2400
Сумарні відрахування (амортизація, ТО та поточний і капітальний ремонт), %	21,5	21,5
Кількість водіїв	1	1
Заробітна плата, грн./год.	85,00	85,00
Витрата палива кг/год,	25	22,5
Ціна палива, грн/кг	55,00	55,00

Складові витрати коштів при використанні розробленого регенеративного амортизатора та їх суму наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахунок показників економічної ефективності впровадження

Показник	Базовий варіант	Вдосконалений варіант
Продуктивність за годину зміни, км/год	100	100
Затрати праці, люд.-год/км	0,01	0,01
Заробітна плата механізатора , грн./км.	0,85	0,85
Вартість палива, грн./км	13,75	12,37
Відрахування на реновацію та капітальний ремонт автомобіля, грн./км;	4,00	4,06
Відрахування на поточний ремонт та ТО автомобіля, грн./км.	1,73	1,76
Сумарні прямі експлуатаційні витрати, грн./км	20,33	19,04
Економія прямих експлуатаційних витрат, грн./км	1,29	

Застосування розробленого регенеративного амортизатора підвіски автомобіля забезпечує економію коштів в порівнянні з базовою підвіскою при впровадженні на автомобілі MAN TGS 41.400 8X4 BB CH 1,29 грн. на кілометр.

Економічний ефект від застосування розробленого регенеративного амортизатора підвіски автомобіля в порівнянні з існуючою технологією становить – 309600,00 грн/рік при завантаженні автомобіля 2400 год/рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел показав, що дослідження спрямовані на отримання електричної енергії від коливань транспортного засобу через його підвіску є актуальними. А найбільш перспективними є дослідження гідроелектричної підвіски.

2. Розроблено принципову схему регенеративного гідравлічного амортизатора підвіски автомобіля, яка дозволить генерувати електричну енергію під час руху транспортного засобу по нерівностям дороги. Для забезпечення роботи даної системи підібрано відповідне обладнання: гідроциліндр з відповідними параметрами, шестеренний гідромотор, генератор змінного електричного струму та акумуляторну батарею Varta Blue Dynamic 74 Агод.

3. Розглянуто небезпечні та шкідливі виробничі фактори при завантаженні, розвантаженні та перевезенні вантажів. Та розроблено заходи з охорони праці при навантаженні, перевезенні та розвантаженні вантажів.

4. Застосування розробленого регенеративного амортизатора підвіски автомобіля забезпечує економію коштів в порівнянні з базовою підвіскою при впровадженні на автомобілі MAN TGS 41.400 8X4 BB CH 1,29 грн. на кілометр. Економічний ефект від застосування розробленого регенеративного амортизатора підвіски автомобіля в порівнянні з існуючою технологією становить – 309600,00 грн/рік при завантаженні автомобіля 2400 год/рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tvrdić, Vjekoslav, et al. Regenerative hydraulic shock absorber for vehicle applications: prototype design. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2020, 1-25.
2. Підвіска автомобіля: методичні вказівки до практичних занять з дисципліни “Конструкції автомобілів” для студентів спеціальності 7.090258 “Автомобілі та автомобільне господарство”/ Укл. П. М. Гащук, Т. Г. Миськів, Р. В. Зінько.— Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2004.— 28 с.
3. ДСТУ 2947-94 Автотранспортні засоби. Підвіски автомобілів. Терміни та визначення.
4. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. - 6-те вид. - К.: Либідь, 2006. — 400 с.
5. Eriksson, Jesper; Piroti, Shwana. Review of methods for energy harvesting from a vehicle suspension system. 2016.
6. Zhongjie Li et al. \Electromagnetic energy-harvesting shock absorbers: design, modeling, and road tests". In: *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* 62.3 (2013), pp. 1065-1074.
7. Reza-Kashyzadeh, K., M. J. Ostad-Ahmad-Ghorabi, and A. Arghavan. 2013. Study effects of vehicle velocity on a road surface roughness simulation. *Applied Mechanics and Materials* 372:650–56.
8. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / М.М.Сакул, В.Ф. Нагорнюк; Одеський державний Аграрний університет/. Кафедра безпеки життєдіяльності.- Одеса «Видавництво», 2009.- 184 с.
9. Fodase, Ganesh M.; Gaikwad, Praeep R. Review of potential of Regenerative Hybrid Suspension System as a future technology for suspension.
10. Мельник І.І. Проектування технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, С.М. Бондар; За ред. І.І. Мельника. – Ніжин: ТОВ “Видавництво Аспект-Поліграф”, 2005. – 192 с.