

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А
другого магістерського рівня

на тему: «Дослідження експлуатаційних властивостей
автомобільних амортизаторів з рекуперативним ефектом»

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-62

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Іванів М.В.

(Прізвище та ініціали)

Керівник: Рубан Д.П.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Шарибура А.О.

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 621.433.052

Іванів М.В. «Дослідження експлуатаційних властивостей автомобільних амортизаторів з рекуперативним ефектом»

//Дипломна робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування. 2024. – 36 с.

В роботі запропоновано конструкцію амортизатора, що ґрунтується на принципі досягнення ним регенеративного ефекту, що полягає у перетворенні частини енергії механічних коливань на електричну енергію, яку з користю використовують.

Для досліджень амортизаторів з регенеративним ефектом розроблено методику, що складається зі стендових випробувань при різних швидкостях та величинах ходу, а також натурних випробувань на автомобілі на різних дорогах при фіксованих швидкостях.

Встановлено, що швидкість руху та завантаження автомобіля однаково впливають на енергію, що виробляється амортизаторами. Коли швидкість подвоюється, вироблення енергії подвоюється. Те саме співвідношення можна застосувати і до маси транспортного засобу. Енергія, що виробляється амортизатором, прямо пропорційна квадрату активного діаметра електричної машини. При збільшенні діаметра вдвічі потужність збільшується в 3,8-4 рази.

Таблиць 4; рисунків 12; бібліогр. джерел 36

Вступ	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ АМОРТИЗАТОРІВ З РЕГЕНЕРАТИВНИМ ЕФЕКТОМ	10
1.1. Вимоги до системи підвіски сільськогосподарських машин та тракторів	10
1.2. Системи підвіски транспортних засобів з функцією рекуперації енергії	11
1.3. Типи електричних машин, призначених для використання в рамках АРЕ	21
Висновки за розділом	28
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В АМОРТИЗАТОРАХ З РЕГЕНЕРАТИВНИМ ЕФЕКТОМ	28
2.1. Математичний опис процесів, що відбуваються в електроамортизуючій машині	28
Висновки за розділом	34
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ АМОРТИЗАТОРА З РЕГЕНЕРАТИВНИМ ЕФЕКТОМ	35
3.1. Предмет дослідження	35
3.2. Вимірювальні та записуючі пристрої	40
3.3 Процедури та методи випробувань	41
Висновки за розділом	42
4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ АМОРТИЗАТОРІВ З РЕГЕНЕРАТИВНИМ ЕФЕКТОМ	43
4.1. Аналіз результатів дослідних випробувань амортизаторів	43
4.2. Рекомендації щодо конструкції амортизатора	44
4.3. Аналіз результатів дослідних випробувань комплекту амортизаторів у складі транспортного засобу	46
Висновки за розділом	50
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	51

СИТУАЦІЯХ	
5.1. Безпека праці під час діагностування і ремонту автомобілів	51
5.2. Заходи електробезпеки у відділенні діагностики	53
5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях	55
РОЗДІЛ 6. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	56
АМОРТИЗАТОРІВ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ	
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ВСТУП

В даний час посилюються вимоги щодо зниження викидів забруднюючих речовин від різних транспортних засобів, у тому числі сільськогосподарської техніки. Автомобілі та трактори є одним із основних джерел забруднення навколишнього середовища. Нові екологічні стандарти також є рушійною силою розвитку транспортних та сільськогосподарських технологій, спонукаючи виробників створювати дедалі досконаліші конструкції.

Власники також висувають вимоги до конструкції транспортних засобів, щоб знизити сукупну їх вартість, тим самим оптимізуючи транспортні процеси та витрати. Фактор скорочення запасів традиційних енергоресурсів, що видобуваються, і зростання цін на них також впливає на зростаючу необхідність підвищення ефективності та оптимізації транспортних процесів за рахунок зниження витрат на їх реалізацію. Тому виникає необхідність створення систем та агрегатів, які максимально ефективно використовують енергетичні ресурси. В автомобілях і тракторах енергія агрегату, що отримується не тільки за рахунок корисної роботи, а й за рахунок згоряння палива, втрачається у вигляді втрат у великій кількості вузлів та агрегатів. Йдеться про трансмісію, підвіску, гальма, шини, рульове управління і т. д. Втрати енергії можна класифікувати наступним чином:

- втрати в двигунах (через неякісні робочі процеси, в основному опалення та виділення тепла в навколишнє середовище);
- втрати в силових установках приводу допоміжних агрегатів (привод генератора, насосів ГУР, пневмокомпресора, компресора кондиціонера, циркуляційного насоса, вентилятора системи охолодження тощо);
- втрати в приводах і редукторах, головних і допоміжних приводах, втрати на тертя в агрегатах, опорах, тепловиділення при роботі редукторів, проковзування деталей, що труться, нагрівання робочих рідин;
- втрати в системах управління, кермової та гальмівної систем, розсіювання енергії у вигляді тепла;
- втрати в системі підвіски на деформацію і гасіння вібрації (не менше 10-20% від загальних механічних втрат);

– втрати на тягу, на деформацію, нагрівання та опір коченню, втрати у вигляді тепла, енергії відриву замкнених обсягів у протекторі шини, енергії ковзання елементів площі плями контакту.

- В роботі запропоновано конструкцію амортизатора, що ґрунтується на принципі досягнення ним регенеративного ефекту, що полягає у перетворенні частини енергії механічних коливань на електричну енергію, яку з користю використовують.
- Для досліджень амортизаторів з регенеративним ефектом розроблено методикку, що складається зі стендових випробувань при різних швидкостях та величинах ходу, а також натурних випробувань на автомобілі на різних дорогах при фіксованих швидкостях.

При русі дорогою автомобіль піддається неминучим вібраціям, характер яких залежить від якості дороги та умов руху. З метою зниження впливу кінематичних впливів на водія, пасажирів, вантаж, агрегати та системи самого автомобіля в системі підвіски застосовуються пружні та демпфуючі елементи. Демпфуючі елементи гасять вібрації за рахунок розсіювання енергії при переході від механічної до теплової. На цей процес також витрачається корисна енергія агрегату. Щоб підвищити енергоефективність систем підвіски транспортних засобів необхідно рекуперувати, зберігати та розумно використовувати енергію, що виділяється амортизаторами у навколишнє середовище.

Для вирішення цього завдання можна реалізувати ефект рекуперації механічної енергії коливань підресореної маси автомобіля в електричну енергію за допомогою електромеханічного перетворювача (генератора) та подальшого використання цієї енергії для живлення споживачів або для заряджання енергії джерела використання накопичувача: батареї високої чи низької напруги за рахунок зниження навантаження на двигун внутрішнього згорання або батареї суперконденсаторів.

Мета роботи – підвищення енергоефективності автомобілів за рахунок застосування амортизаторів із регенеративним ефектом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Проаналізувати існуючі розробки систем рекуперації, що включають амортизатори з відновленням.

2. Проаналізувати можливості використання електричних машин під час проектування амортизатора з регенеративним ефектом.
3. Розробити рекомендації щодо проектування амортизаторів регенеративної дії для сільськогосподарської техніки.
4. Дослідити регенеративний ефект амортизаторів, що полягає в перетворенні частини енергії механічних коливань в електричну енергію.
5. Дослідити електричні та енергетичні процеси, що відбуваються в амортизаторах з рекуперативним ефектом та перетворювачах потужності в системі рекуперації енергії транспортних засобів під час руху в різних умовах.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ АМОРТИЗАТОРІВ З РЕГЕНЕРАТИВНИМ ЕФЕКТОМ

1.1. Вимоги до системи підвіски сільськогосподарських машин та тракторів

Проблеми динаміки колісних транспортних засобів вивчаються з їх появи. Ці питання відображені у роботах [1, 9, 10] та інших.

Система підвіски (СП) істотно впливає на такі характеристики автомобіля, як плавність ходу, керованість і стійкість, а також впливає на керованість і цілісність вузлів і конструкцій автомобіля.

СП є складною системою, що складається з ряду пружних, демпфуючих і провідних елементів. Пневматичні шини також істотно впливають на функціонування системи та діють, зокрема, як пружний елемент. Існують транспортні засоби, які не мають окремих пружних елементів, крім пневматичних шин. Пружні елементи (ЕЕ) поглинають масу автомобіля, а також зменшують динамічні навантаження, що передаються на опорну систему за рахунок пружної деформації. Демпфуючі елементи гасять вібрації підресорених і безпружинних частин автомобіля. Напрямні елементи забезпечують передачу навантаження між підресореними і безпружинними частинами і визначають кінематику їх відносного руху [18, 24].

До підвісної системи пред'являються такі основні вимоги [20, 21, 23]:

- зниження динамічних навантажень, що діють на частини автомобіля, що підвішуються (водій, екіпаж, пасажери, вантаж);
- гасіння вібрацій, викликаних рухом підресорених та безпружинних частин;
- передача сил і моментів між підресореними та безпружинними частинами;
- забезпечення необхідної кінематики руху коліс, а саме відсутності змін колії та кута встановлення коліс;
- протидія розгойдування системи підтримки;
- забезпечення надійного контакту колеса з опорною поверхнею.

1.2. Системи підвіски транспортних засобів з функцією рекуперації енергії

Транспортні засоби експлуатують в умовах важкого бездоріжжя: розбиті та розмиті дороги, свіжий сніг тощо. Велику частину часу вони пересуваються неякісними дорогами, для яких характерна наявність нерівностей, поверхонь значної висоти та різної довжини. Якість сільськогосподарських ґрунтових доріг часто залежить від погоди та може погіршуватися. У реальних умовах експлуатації під час руху цими дорогами колесо автомобіля взаємодіє з нерівностями за допомогою тяги і сприймає кінематичні збурення.

Вплив на підвішену частину автомобіля залежить як від характеристик самих джерел (висоти та довжини нерівностей), так і від характеристик та швидкості руху автомобіля. Підвісна частина машини також сприймає силові збурення, які пояснюються недосконалістю підвіски та інших систем та механізмів. Кінематичні збурення є основним фактором, що впливає на систему підвіски. Інтенсивність цього збурення і вібрації, що виникають в результаті, в основному визначаються мікропрофілем дорожнього покриття, швидкістю руху і властивостями шини [10]. У сільськогосподарських машин інтенсивність збурень і вібрацій, що виникають, істотно вища в порівнянні з дорожніми машинами, які переважно експлуатуються на асфальтованих дорогах з твердим покриттям.

В даний час на мобільній техніці найчастіше застосовуються залежні підвіски з пружним металевим елементом та гідравлічними телескопічними амортизаторами. Гасіння вібрації підресорених мас автомобіля забезпечується за рахунок перетворення механічної енергії вібраційного процесу на теплову енергію з подальшим викидом у навколишнє середовище. У випадку гідродемпфуючих елементів цей процес відбувається шляхом дроселювання гідравлічного робочого тіла через калібровані отвори в амортизаторі, що супроводжується нагріванням робочого тіла. Тепло, що виходить в результаті, виділяється в навколишнє середовище через зовнішні поверхні амортизатора. Без амортизаторів демпфування відбувається за рахунок розсіювання енергії у вигляді гістерезисних втрат у масі матеріалу шини під час її деформації.

Теплові втрати потужності амортизатора, встановленого на

сільськогосподарській вантажівці, можна оцінити за формулою (1) [11, 12]:

$$Na = kav^2 ; \quad (1)$$

де ka - середнє значення коефіцієнта демпфування, а v - швидкість поршня амортизатора, при якій відкриваються запобіжні клапани.

Для амортизаторів, що використовуються на автомобілях КамАЗ, швидкість поршня амортизатора зазвичай становить 0,52 м/с, а середній коефіцієнт демпфування - 12200 Н. Тоді

$$Na = 12200 \cdot 0,52^2 = 3,3 \text{ кВт.}$$

В автомобілях встановлено не менше 4 елементів, що демпфують. У такому разі тепла енергія становить 13,2 кВт. Ця потужність дуже велика, і використання пристроїв для рекуперації енергії може суттєво вплинути на енергоефективність цих транспортних засобів.

В даний час запропоновано низку конструкцій пристроїв рекуперації енергії в СЕ [4,5,27,28]. У принципі, всі запропоновані технічні рішення можна застосувати до легкових автомобілів. Загалом їх поділяють на такі основні групи (рис. 1.2):

- електричні, електромагнітні;
- гідро- та пневматичні;
- інерційно механічні;
- тертя;
- комбіновані.

До інерційно-механічних рекуператорів відносяться різні пристрої, що використовують енергію маховиків і акумулюють енергію мас, що повільно обертаються або поступально рухаються. Більше того, перше найбільш імовірно. Цей тип рекуперативних пристроїв знайшов мале застосування в конструкціях систем приводу привідних коліс автомобілів для рекуперації енергії гальмування. На рисунку 1.1 показано варіанти конструкції інерційного накопичувача. Дослідження показують, що використання цих пристроїв може покращити плавність ходу автомобіля. Крім того, вони прості за конструкцією і можна порівняти за вартістю з пристроями гідравлічного відновлення. Без

використання в конструкції електричних машин використання накопиченої енергії дуже утруднено і передбачає використання складних систем передачі механічної енергії на приводи або колеса. Нерівномірне функціонування демпфуючих елементів, що супроводжується зміною напрямку руху, не дозволяє використовувати позитивні властивості інерційних акумуляторів або вимагає застосування пристроїв, що забезпечують постійний напрямок обертання. Пристрої рекуперації, що ґрунтуються на зворотно-поступальному русі, маловідомі.

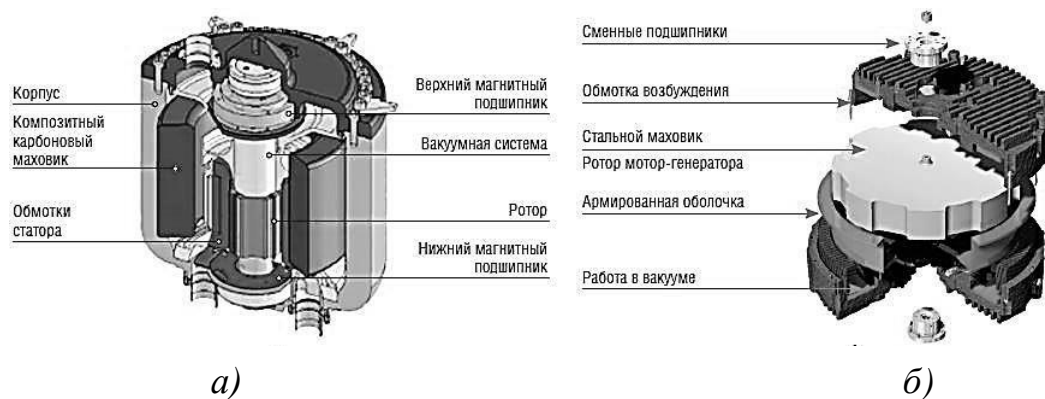


Рисунок 1.1 – Варіанти конструкції інерційних накопичувачів енергії
A – варіант Socomes, варіант; *b*) варіант Active Power

Гідравлічні дизелі із рекуперативним ефектом мають оптимальні масогабаритні характеристики. З їх допомогою найлегше досягти необхідних демпфуючих властивостей підвіски. Принцип роботи таких пристроїв в цілому аналогічний принципу роботи гідроамортизаторів, що використовуються, а саме дроселювання гідравлічної рідини через отвори клапанів. Рекуперація енергії руху рідини можлива через систему клапанів у гідроакумуляторі. У той же час складно використати накопичену енергію гідравлічної рідини. Особливо гостро це проявляється у вантажних автомобілях, тому що в їх конструкції немає споживачів цієї енергії, що постійно працюють. Тому в більшості розробок [30] для зберігання нагромадженої енергії використовуються електрогенератори з приводом від гідромотора. На рисунку 1.2 показаний один із варіантів конструкції такого рекуператора.

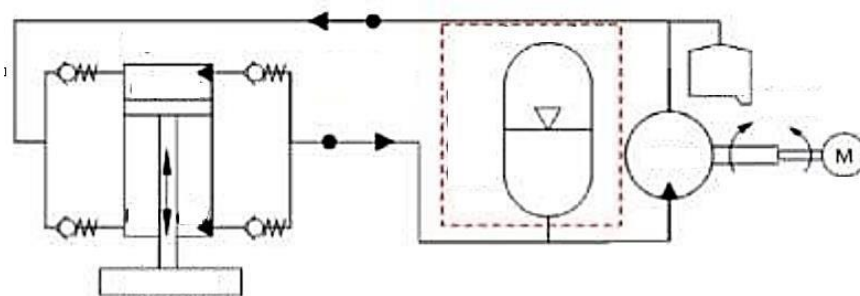
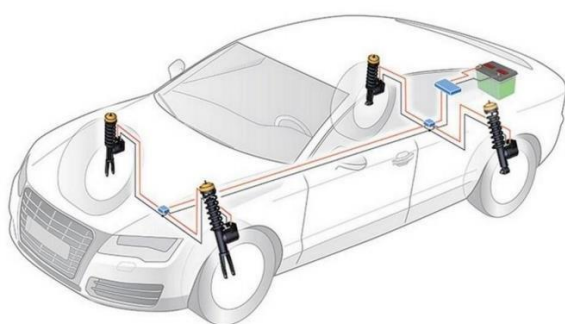


Рисунок 1.2 – Варіант конструкції гідродизелю

У роботах [32] використаний аналогічний принцип, заснований на гідравлічній енергії потоку рідини при поворотно-поступальному русі поршня в електричному електрогенераторі, встановленому на валу гідромотора (рис. 1.3).



а)



б)

Рисунок 1.3 – Регенеративна підвіска GenShock

А– схема регенеративної підвіски GenShock, Б – зовнішній вигляд амортизатора GenShock

На рисунку 1.4. показано схему пневмопідвіски з рекуперацією енергії, що складається з пневмопружного елемента, пневмодвигуна 2, електрогенератора 3 і блоку управління 4. Принцип роботи аналогічний розглянутим вище системам, за винятком того, що в цьому випадку робочим середовищем є повітря [33].

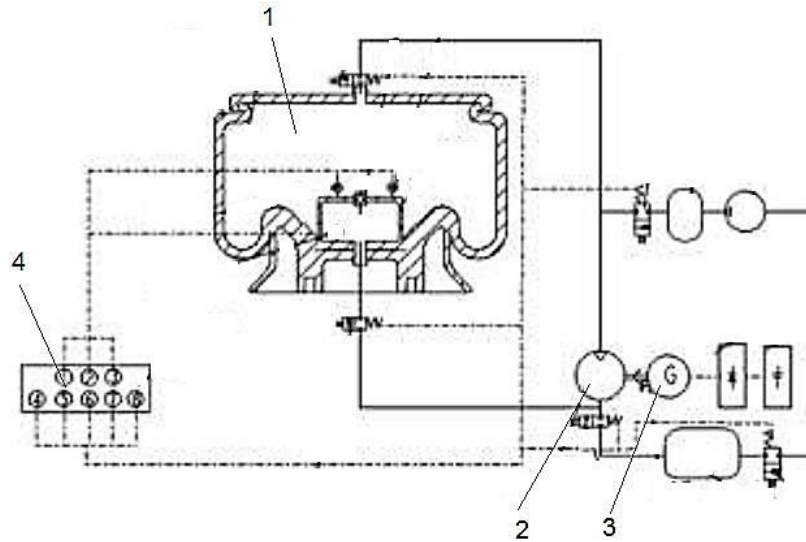


Рисунок 1.4. - Схема пневмопідвіски з рекуперацією енергії

1 – пневмопружний елемент, 2 – пневмодвигун, 3 – генератор, 4 – блок управління

Використання фрикційних демпфуючих елементів, принцип дії яких заснований на роботі сили тертя та дисипації теплової енергії для рекуперації енергії [34, 35], утруднено через великі габарити та масу. Це у свою чергу ускладнює компонування в автомобілі, а також пов'язане зі складністю виготовлення та підвищеним зносом фрикційних елементів.

До електромагнітних ДЕ з регенеративним ефектом відноситься розробка фірми Bose (рис. 1.5), у якій функції ДЕ виконують лінійні електричні машини на основі лінійного синхронного генератора з постійними магнітами, описана в [34]. У розробці [31] також розглядається амортизатор з регенеративним ефектом, що є лінійним індукторним генератором. Вирішальною перевагою електромагнітної системи є короткий час реакції електромашини на нерівності дорожнього покриття.

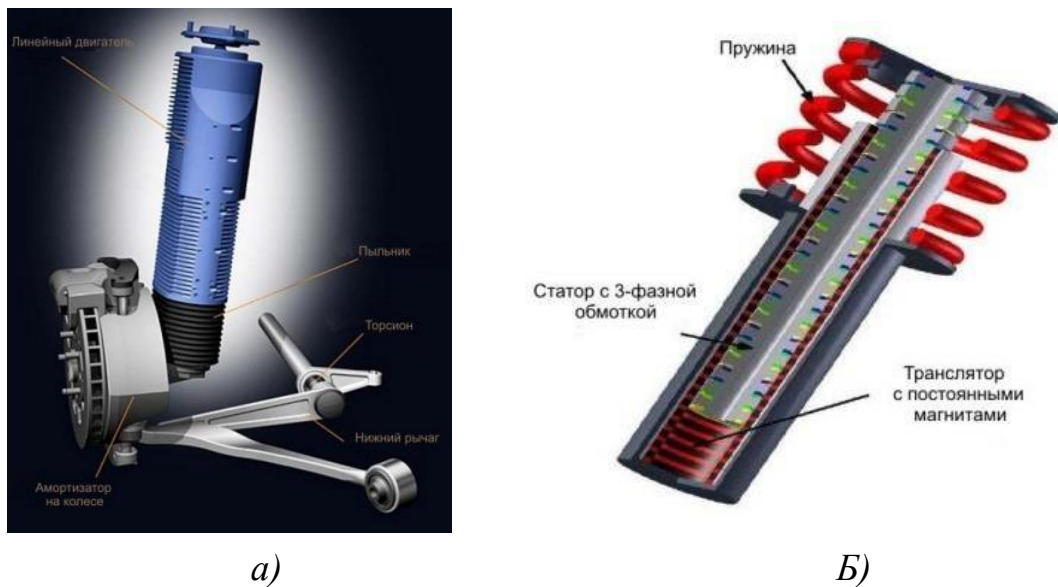


Рисунок 1.5 – Підвіска Bore з ЕД на основі лінійної електричної машини
 А– схема передньої підвіски Bore; б – амортизатор підвіски Bore

У роботі [31] була запропонована комбінована конструкція електромагнітного амортизатора з гідравлічним демпфуючим ступенем амортизатора та генератором (рис. 1.6).

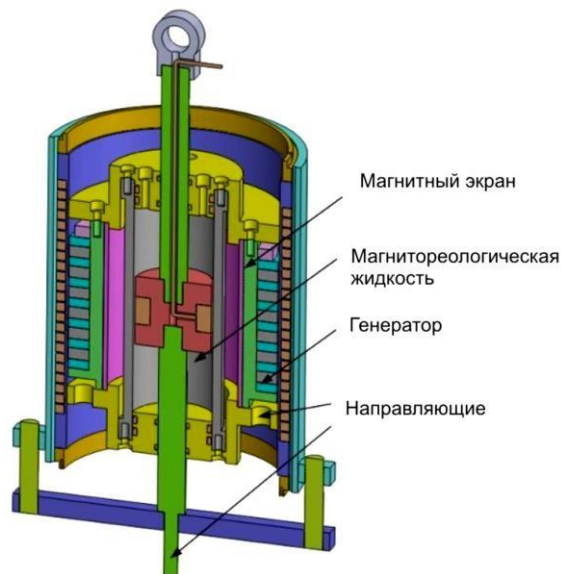


Рисунок 1.6 – Конструкція амортизатора із вбудованим генератором

У роботі [33] описаний лінійний двигун з постійними магнітами для амортизатора автомобіля ВАЗ, встановлений разом із гідроамортизатором (рис. 1.7).

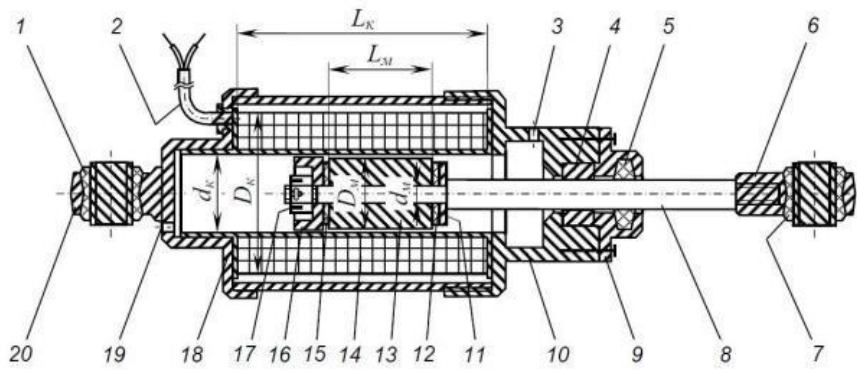


Рисунок 1.7 – Принципова схема лінійного електромагнітного генератора
 1 – амортизуючі втулки; 2 – виведення кабелю котушки генератора; 3 та 19 – декомпресійні отвори; 4 та 16 – втулки з ковзного матеріалу; 5 – сальник; 6 і 20 – нижнє та верхнє кільця кріплення; 8 – стрижень; 9 та 10 – кришка сальника та корпус генератора; 11 – опорний диск; 12 та 15 – еластичні шайби; 13 – постійний магніт; 14 – котушка генератора; 17 – корончаста гайка; 18 – корпус генератора

Шасі Audi eROT у своїй конструкції використовує амортизатор із електричним генератором [32]. На цьому спільному підприємстві використовується ЕД на основі електрогенератора, що обертається (рис. 1.8), вхідний вал якого приводиться в обертання напрямними елементами підвіски через набір шестерень.

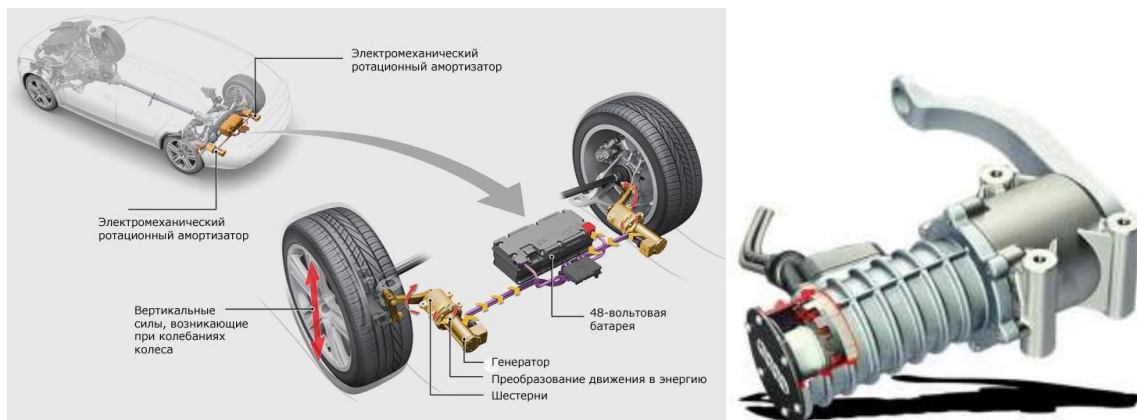


Рисунок 1.8 – підвіска Audi eROT

У роботі [32] стверджується, що генератори, що обертаються, мають перевагу перед лінійними генераторами по питомій вироблюваній потужності і коефіцієнту демпфування. При використанні електричних машин, що обертаються, у складі електромагнітних електродвигунів в систему входить привод, що перетворює зворотно-поступальний рух у обертальний.

У розробці [35] представлений спосіб перетворення зворотно-поступального руху колеса транспортного засобу щодо його корпусу в

обертальний рух генератора, що використовує привод важеля для вироблення електроенергії для зарядки акумулятора транспортного засобу. Дана конструкція має великі габарити та високу складність конструкції, що ускладнює її розміщення у транспортних засобах. Крім того, конструкція перетворювача поступального руху спричиняє виникнення динамічних радіальних сил на роторі електричної машини.

У [32] у складі амортизатора підвіски автомобіля пропонується використовувати електричний роторний генератор, що перетворює зворотно-поступальний рух штока амортизатора в обертальний за допомогою рейкового механізму та конічної передачі. Як генератор обертання пропонується двигун із постійними магнітами (рис. 1.9).

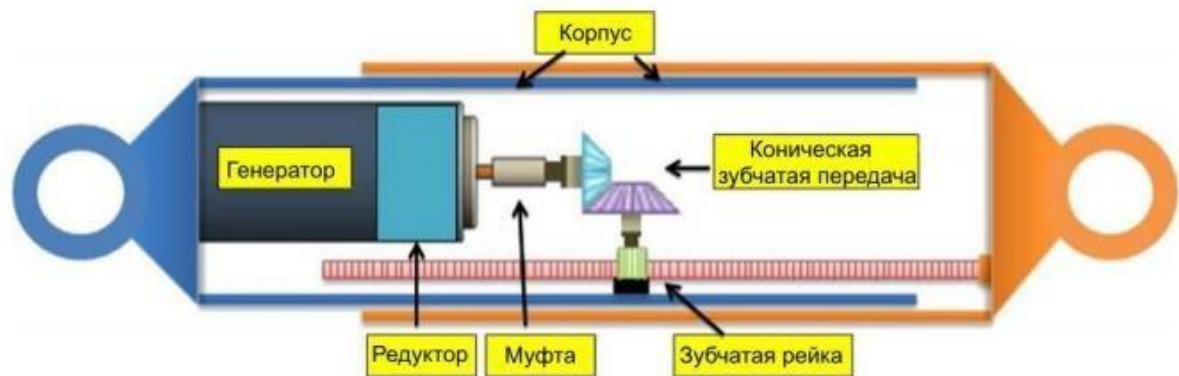


Рисунок 1.9 – Конструкція регенеративного амортизатора з механізмом приводу, що складається з рейкової та конічної передачі

Поворотно-поступальний рух рухомої частини амортизатора за допомогою рейкової, шестерні та конічної передачі перетворюється на обертання генератора, що виробляє електроенергію для зарядки бортового акумулятора. У цьому пристрої відбувається подвійне перетворення енергії. Використання механічних трансмісій, які дуже незадовільно функціонують за умов високих динамічних навантажень на вузли підвіски (особливо на вантажних автомобілях), суттєво знижує надійність пристрою. При цьому збільшуються розміри амортизаторів (рис. 1.10).

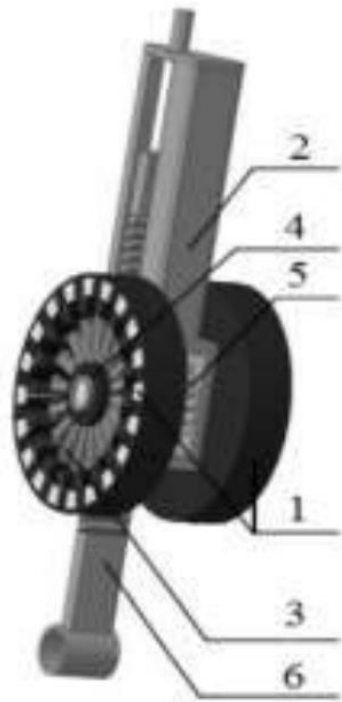


Рисунок 1.10 – Електромагнітний амортизатор

1 – генератори, 2 – корпус, 3 – ротори генератора, 4 – обгінна муфта, 5 – мультиплікатор, 6 – рейка

У [32] розглянуто складніший механізм трансформації, що допускає кручення генератора в один бік (рис. 1.11). Амортизатор має рейковий механізм, що перетворює лінійний рух поршня в односпрямований обертальний рух ротора генератора.

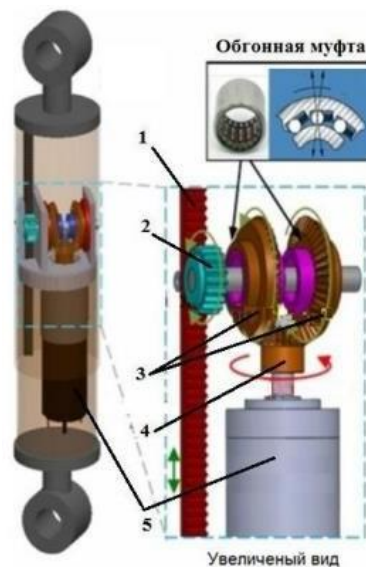


Рисунок 1.11 – Амортизатор з роторним генератором та приводом, що дозволяє обертати ротор тільки в одному напрямку

1 – рама; 2 – шестерня; 3 – привідні конічні шестірни; 4 – ведена конічна шестерня; 5 – генератор

Одностороннє обертання ротора в різні боки руху колеса забезпечують дві конічні шестірні, які через дві обгонні муфти з протилежними напрямками замикання пов'язані з шестернею, веденою з якорем генератора. Однак така схема ускладнює конструкцію, а використання обгінних муфт при ударних навантаженнях у підвісці призводить до значного скорочення їх терміну служби. При його розробці був використаний принцип перетворення поступального руху на обертальний рух електрогенератора за допомогою ШВП (рис. 1.12).

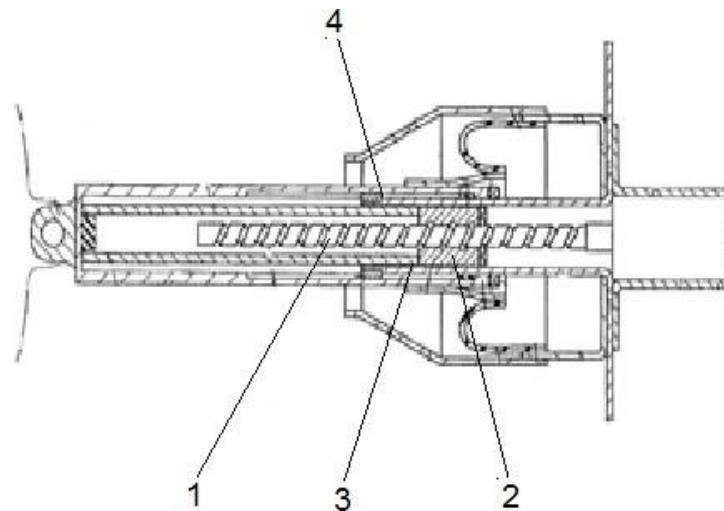


Рисунок 1.12 – Амортизатор з обгінними муфтами
1 – гвинт, 2 – гайка, 3 – статор, 4 – ротор з ПМ.

Перевага цього рішення полягає в компактності конструкції та підвищенні ефективності перетворення енергії. Однак така схема ускладнює конструкцію та призводить до використання обгінних муфт при ударних навантаженнях у підвісці, значного скорочення їх терміну служби.

У роботах [30-33] розглянуто різні варіанти конструкції вузлів електричних машин з метою підвищення демпфуючого ефекту та зниження негативного впливу вихрових струмів при нормальній роботі амортизатора. При проектуванні генераторів електромагнітної енергії розробники використовують як плоскі, так і циліндричні електричні машини. Недоліком звичайних плоских лінійних двигунів є те, що велика сила прикладається перпендикулярно поверхні ротора, що рухається [53]. Вирішенням цієї проблеми є конструкція лінійного двигуна циліндричної форми, в якій через радіальну симетрію не виникає нормальної сили. У роботах [28-29] циліндричні лінійні генератори представлені

як ДУ. Якщо електричні параметри циліндричних і плоских електричних машин, що розглядаються, однакові, в останніх виникають великі втрати. Для підвісок ДЕ пропонується використовувати лінійний генератор з активним статором і пасивним транслятором (ротором). ІП з ефектом відновлення енергії деформації можуть мати функції зміни властивостей. Одним із основних недоліків ІП з функцією зміни властивостей залишається високе енергоспоживання. Теоретичні дослідження та масштабні випробування показують [19], що активна підвіска споживає від 10 до 30% потужності двигуна, що пов'язано з необхідністю подачі живлення на систему керування.

1.3. Типи електричних машин, призначених для використання в рамках АРЕ

У конструкціях, у яких для зберігання енергії використовуються гідравлічні, інерційно-механічні та пневматичні пристрої рекуперації, застосовується електромеханічний перетворювач (електрогенератор). Найпростіше використовувати електричну енергію в транспортних засобах та тракторах, оскільки там постійно працюють електричні пристрої. Для підвищення ефективності АРЕ має сенс безпосередньо розглядати конструкції тільки з перетворенням енергії механічних коливань на електромагнітну енергію і далі на електричну. Отже, АРЕ повинен містити вузли, які здійснюють це перетворення, а саме електромеханічний перетворювач у вигляді електричного генератора. Електричні генератори використовуються для вироблення електричної енергії. Процес перетворення енергії відбувається у електричних машинах. У електричних генераторах механічна енергія перетворюється на електричну. Принцип дії будь-якої електричної машини ґрунтується на використанні явища електромагнітної індукції. Електричний струм виникає в провідниках під дією електромагнітної індукції внаслідок їх взаємодії з магнітним полем, що змінюється.

В електричних машинах перетворення енергії зазвичай включає дві основні частини: рухому і нерухому, які рухаються відносно один одного. Один із них створює магнітне поле, що змінюється у просторі. В іншій, нерухомій частині,

при русі рухомої частини при її взаємодії з магнітним полем, що змінюється, індукується ЕРС і створюється електричний струм. При взаємодії цього струму з магнітним полем в обмотці створюються електромагнітні сили, спрямовані таким чином, що перешкоджають зміні магнітного поля і, отже, рухомої частини.

В даний час у техніці є велика кількість електричних машин (ЕМ). Все різноманіття електричних машин можна класифікувати за рядом критеріїв: за призначенням, за родом струму, за видом механічного руху, за потужністю, за швидкістю, за ступенем пиловологозахисту, за режимом роботи, за способом установки.

Залежно від призначення електромобілі поділяються на електродвигуни та електрогенератори. За родом струму є машини постійного та змінного струму.

За типом механічного руху розрізняють обертові (обертальні) і лінійні (поступальні) машини.

По потужності: мікромашини – до 500 Вт, малої потужності – від 500 Вт до 10 кВт, середньої потужності – від 10 до 100 кВт та великої потужності – понад 100 кВт. Електричні машини з демпфуючими елементами з регенеративним ефектом відносяться до машин малої потужності.

По частоті обертання чи швидкості руху розрізняють повільні швидкості - до 300 об/хв, середні швидкості - від 300 до 1500 об/хв, високі швидкості - від 1500 до 6000 об/хв, надвисокі швидкості - понад 6000 об/хв. Електромобілі в АРЕ слід розділити на тихохідні, середньошвидкісні та високошвидкісні залежно від їхньої конструкції за умови використання передавальних механізмів та передач.

Оскільки електромобілі в АРЕ схильні до вібрацій і ударів, що виникають при русі по нерівних дорогах, їх відносять до експлуатаційної групи М30 [61].

За своїми експлуатаційними характеристиками електричні машини поділяються на 10 груп (С1 ...С10) згідно. Для автомобілів з амортизаторами з регенеративним ефектом визначити режим роботи складно, оскільки умови експлуатації сильно залежать від багатьох факторів: швидкості, стану дороги, завантаження автомобіля і т.д.

До групи лінійних електричних машин входять лінійно-реактивні та синхронно-лінійні машини, у тому числі із збудженням постійними магнітами.

До групи електричних машин постійного струму входять: з постійними магнітами (ПМ), з електромагнітами: з незалежним включенням обмоток (незалежне збудження), з послідовним включенням обмоток (послідовне збудження), з паралельним з'єднанням обмоток (паралельне збудження), змішаним включенням обмоток (змішане збудження).

Тип з'єднання обмоток статора істотно впливає на тягові та електричні властивості електродвигуна.

Переваги машин постійного струму:

- простота пристрою та управління;
- практично лінійні механічні та керуючі характеристики двигуна;
- легкий контроль швидкості;
- гарні пускові властивості (високий пусковий момент).

Недоліки електричних машин постійного струму:

- низькі показники питомої потужності та крутного моменту;
- високі виробничі витрати;
- для живлення електродвигуна від мережі змінного струму необхідно використовувати пристрої для випрямлення;
- необхідність профілактичного обслуговування колекторно-щіткових агрегатів;
- обмежений термін служби через знос колектора.

Через ці недоліки, основними з яких є низька питома потужність і крутний момент, а також низька надійність колекторного вузла, машини постійного струму не застосовуються в конструкції амортизаторів з регенеративним ефектом.

Машини змінного струму поділяються на асинхронні машини (АС), синхронні машини з постійними магнітами (СПМ) та реактивні машини з перемикачем (VI).

На малюнку 1.13 показані різні варіанти конструкції явних та неявних полюсів ротора, аксіально-розширених роторів (д, е), а також показані ротори з бар'єрами (в і з).

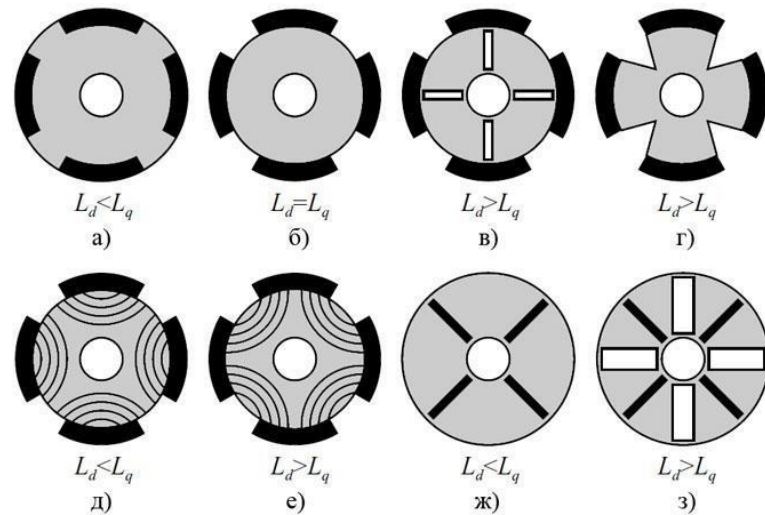


Рисунок 1.13 – Секції ротора

Залежно від конструкції ротора синхронний двигун із постійними магнітами також поділяють на:

- синхронний двигун з постійними магнітами поверхневого монтажу (рис. 1.14);
- синхронний двигун із вбудованими магнітами (рис. 1.15).

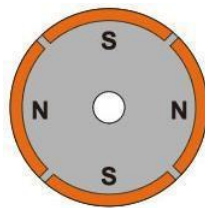


Рисунок 1.14 – Ротор синхронного двигуна з постійними магнітами поверхневого монтажу



Рисунок 1.15 – Ротор синхронного двигуна із вбудованими магнітами

На рис. 1.16 показані демпфуючі характеристики амортизатора, встановленого в підвісці сільськогосподарської вантажівки, а на малюнку 1.17 показано його габаритні розміри.

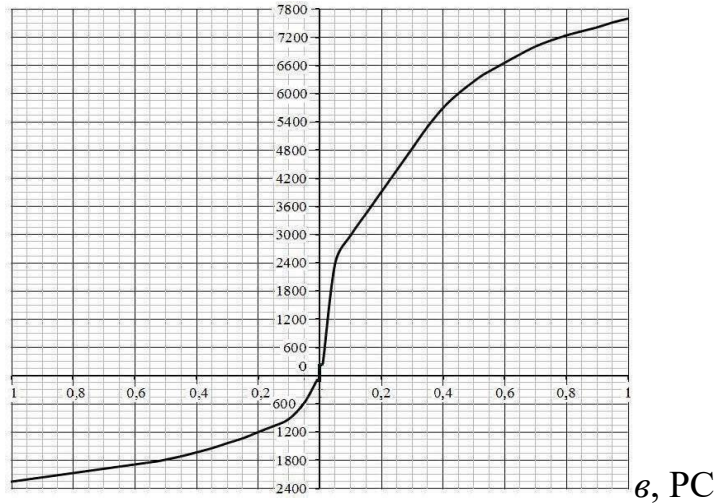
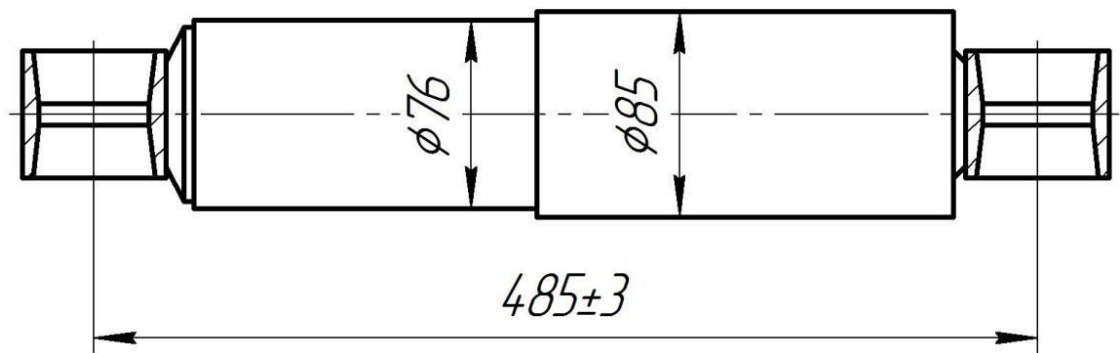


Рисунок 1.16 – Залежність сили опору



Малюнок 1.17 – Габаритні розміри амортизатора

У таблиці 1.1 наведено вимоги до конкретних технічних характеристик амортизаторів вантажних автомобілів, визначені на підставі аналізу конструкторської документації та технічних характеристик амортизаторів, що застосовуються на автомобілях КАМАЗ. Одними з найважливіших вимог до ДЕ є високі значення питомих потужностей та зусиль, а також значення щільності сили та потужності з метою забезпечення необхідного демпфування та дисипації енергії деформації.

Таблиця 1.1

Вимоги до конкретних властивостей амортизаторів

параметр	Значення
Питома потужність, кВт/кг	1,0 - 1,5
Питома густина потужності, кВт/л	2,5 - 2,7
Питома сила, Н/кг	700 1000
Питома густина сили, Н/л	2500 – 3000

Результати аналізу питомих показників електричних машин представлені у

Результати порівняльного аналізу різних типів електричних машин у складі амортизатора з регенеративним ефектом

Параметр	ДБТ	Змінний струм	В І	СЗМ
Питома потужність, кВт/кг	0,3 – 0,4	0,5 - 0,6	0,9 1,0	1,5 2 і більше
Питома густина потужності, кВт/л	0,4 – 0,5	1,8 - 2,2	2,3 - 2,5	6,8 - 7,2
Питомий крутний момент, Нм/кг	1,0 - 1,2	1,8 - 2,0	3,5 – 4,0	4,8 – 5,2
Питома щільність крутного моменту, Нм/л	4,7 – 5,0	6,4 – 6,8	7,8 - 8,2	18,2 - 22,2
Ефективність	64 – 76	80-82	85-86	92-95

З таблиці 1.1 видно, що в амортизаторах з регенеративним ефектом найбільш перспективними є синхронні електричні машини з збудженням постійними магнітами.

Таким чином, синхронні генератори з постійними магнітами мають такі переваги:

- високі питомі експлуатаційні та міцнісні властивості;
- висока надійність;
- простота конструкції;
- висока ефективність;
- низька інерційність при перехідних процесах;
- найкращі вагогабаритні характеристики.

До недоліків синхронних генераторів з постійними магнітами належать:

- відсутність прямого методу регулювання напруги через складність зміни потоку збудження постійних магнітів;
- висока вартість магнітів.

Магніти, які можуть бути використані в конструкції АРЕ для виготовлення полюсів ротора, вибираються на основі порівняння показників сучасних постійних магнітів, а саме залишкової індукції B_r , коерцитивної сили H_c , робочої температури T_w та відносної вартості. Ці дані представлені у таблиці 1.3.

Порівняння показників магнітотвердих матеріалів

Параметр	ПМ на основі заліза, барію або стронцію (FeBa, фес)	ПМ на основі самарію та кобальту (Sm ₂ Co ₁₇ , SmCo ₅)	ПМ на основі неодиму, заліза та бору (NdFeB)
Залишкова індукція Вг, Тл	0,2÷0,4	0,9÷1,1	1,1 ÷ 1,3
Коерцитивна сила Нс, кА/м	400÷500	900 ÷ 1000	1200÷1300
Робоча температура Тw, °С	600	250÷350	80÷210
Вартість, дол.	0,05÷0,1	1,2÷1,4	1

Рекомендується вибрати ПМ на основі інтерметалевого з'єднання рідкісноземельних матеріалів неодиму, заліза та бору (NdFeB). Варто зазначити, що генератори СЗМ не вимагають обслуговування, що є важливим при сільськогосподарських роботах.

Висновки за розділом

На підставі проведеного аналізу встановлено, що найбільш придатними для використання в конструкції амортизаторів з рекуперативним ефектом є синхронні генератори на постійних магнітах.

Їх вибір підтверджується високою питомою потужністю, що генерується, і зусиллям (крутним моментом), що розвивається, а також щільністю потужності. Ці генератори компактні, надійні та прості у використанні.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В АМОРТИЗАТОРАХ З РЕГЕНЕРАТИВНИМ ЕФЕКТОМ

2.1. Математичний опис процесів, що відбуваються в електроамортизуючій машині

Амортизатор з рекуперативним ефектом може бути сконструйований з використанням електромеханічного перетворювача енергії (генератора), що працює на основі явища електромагнітної індукції, виникнення електрорушійної сили (ЕРС) та електричного струму у провіднику при взаємодії з магнітним полем, яке змінюється в часі та просторі. Зміна магнітного поля відбувається за рахунок руху (лінійного чи обертального) рухомої частини ЕМ. Генерований струм та ЕРС у провіднику направляються таким чином, щоб запобігти зміні магнітного поля, тобто виникає протидіюча руху сила, що створює демпфуючу силу.

Лінійну електричну машину можна представити як окремий випадок електричної машини, що обертається, що працює на площині. При роботі генератора або двигуна створюється магнітне поле, що змінюється, а значить, існує змінний магнітний потік.

На малюнку 2.1 показано еквівалентну схему АРЕ.

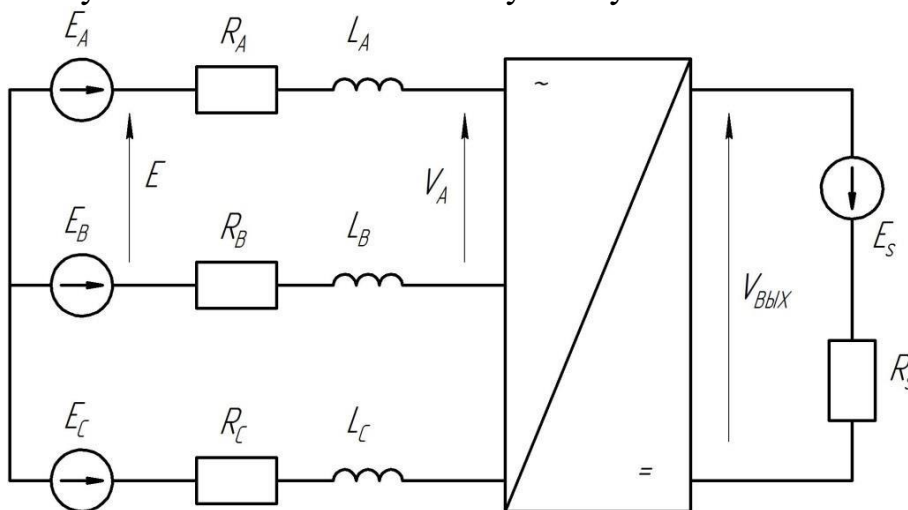


Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема АРЕ

R_a, R_b, R_c – активний опір фазних обмоток, L_a, L_b, L_c індуктивність фазних обмоток, E_a, E_b, E_c – фазна ЕРС, R_s внутрішній опір накопичувача, E_s – накопичувальна ЕРС

Математичний опис процесів, що відбуваються в електричній машині як електромеханічному перетворювачі, проводиться на основі теорії електричних

машин і подвійного перетворення координат з використанням трьох-або багатофазної електричної машини у вигляді дво полюсної схеми. В даний час трифазні машини широко використовуються у промисловості. Вони мають трифазні обмотки статора, осі яких зміщені один від одного на кут 120° , як показано на рис. 2.1. Осі обмоток відповідають осям координат системи та перетинаються на початку координат - центрі електричної машини (вісь ротора або транслятора). А, В, С – осі фазних обмоток статора.

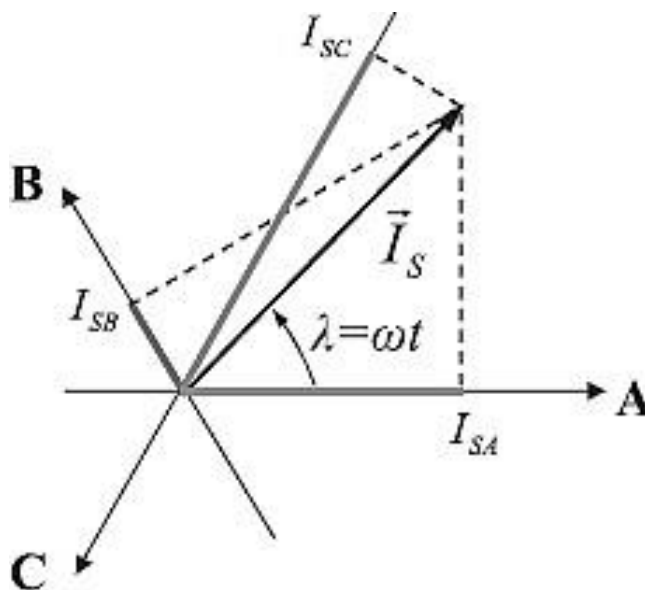


Рисунок 2.2 – Трифазна система координат, що обертається

Струм в обмотках статора можна подати у вигляді узагальненого вектора I_s , який являє собою векторну суму векторів струмів обмоток.

При роботі електродвигуна за рахунок руху ротора вектор струму статора обертається з певною частотою, а його проекції на відповідні осі змінюються за синусоїдальним законом. За цим же законом змінюються і струми у фазних обмотках (1, 2, 3), зберігаючи зсув на 120° :

$$I_{SA} = I_s \cos \lambda = I_s \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$I_{SB} = I_s \cos(\lambda - 120^\circ) = I_s \cos(\omega t - 120^\circ); \quad (2)$$

$$I_{SC} = I_s \cos(\lambda - 240^\circ) = I_s \cos(\omega t - 240^\circ). \quad (3)$$

Також справедливе рівняння, що описує симетрію електричної машини

в фіксованій трифазній системі координат, яке називається перетворенням Кларка (рис. 2.3). Ці перетворення можна описати переходом від реальної трифазної електричної машини до абстрактної двофазної машини (4, 5).

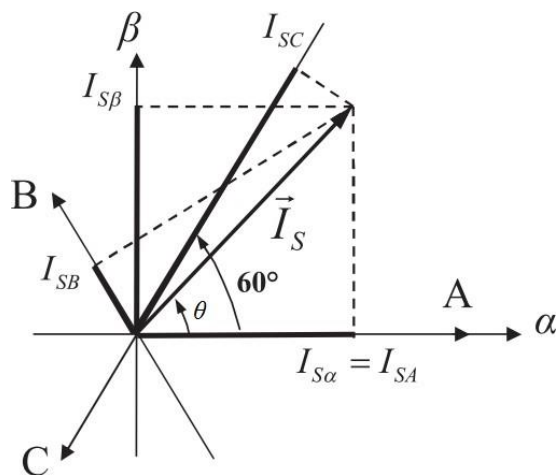


Рисунок 2.3 – Фіксована декартова система координат (перетворення Кларка)

$$I_{S\alpha} = I_{SA}; \quad (4)$$

$$I_{S\beta} = \frac{I_{SB} - I_{SC}}{\sqrt{3}} = \frac{I_{SA}}{\sqrt{3}} + \frac{2I_{SB}}{\sqrt{3}}. \quad (5)$$

Перетворення, що здійснюють перехід від нерухомої системи координат $\alpha\beta$ до декартової системи координат dq , має дві перпендикулярні осі d і q , де початок координат збігається з початком координат нерухомих трифазної і двофазної систем координат (рис. 2.4). Координатні осі обертаються зі швидкістю ω , що відповідає швидкості обертання ротора навколо початку осі ротора (6, 7).

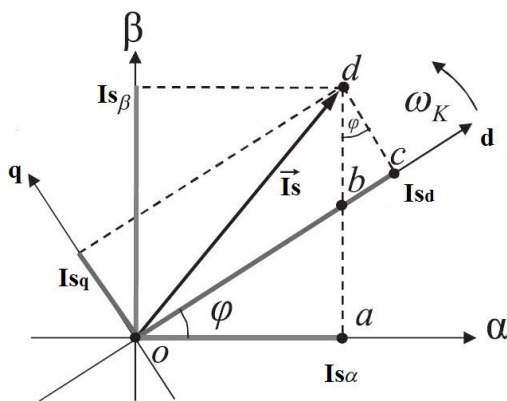


Рисунок 2.4 – Декартова система координат, що обертається

$$ISd = IS\beta \operatorname{gr} \varphi + IS\alpha \text{ тому що } \varphi; \quad (6)$$

$$ISq = IS\beta \text{ тому що } \varphi - IS\alpha \operatorname{gr} \varphi. \quad (7)$$

Узагальнений вектор струму обертається разом із системою координат і характеризується значеннями проєкцій на осі координат d і q . Описані перетворення використовують при побудові сучасних систем управління електричними машинами. На практиці обертання системи координат dq враховується шляхом вимірювання відповідними датчиками або шляхом розрахунку кута повороту ротора щодо фіксованої системи координат за заданими виразами. Управління полягає у контролі величин та знаків проєкцій векторів на осі координат d та q (рисунок 2.5). За рахунок формування певних значень проєкцій струму досягаються необхідні значення обертового моменту або сили, а також мінімізуються втрати енергії в електромобілі.

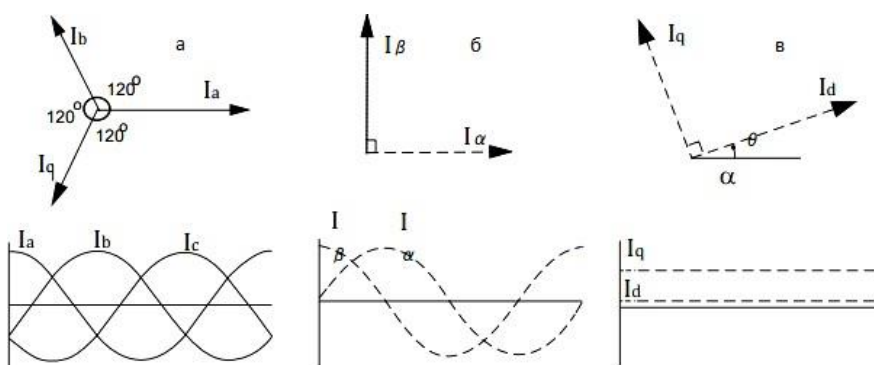


Рисунок 2.5 – Перетворення координат

Процеси, що відбуваються в синхронній електричній машині з постійними магнітами, пояснюються векторною діаграмою, яка представлена на рисунку 2.6. Вісь d орієнтована вздовж осі ротора.

Постійні магніти ротора генерують магнітне поле з потоком зчеплення ψ_f . Вектор магнітного зв'язку відстає від вектора струму на кут. Магнітне поле, що обертається, створює вектор ЕРС в обмотках статора.

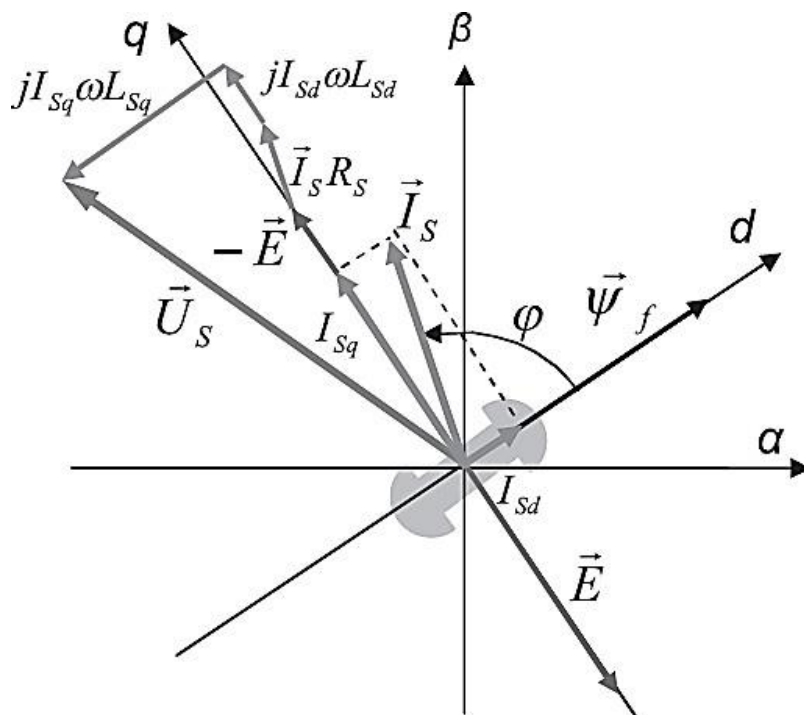


Рисунок 2.6 – Схема, що пояснює процеси в електричній синхронній машині з постійними магнітами

Постійні магніти ротора генерують магнітне поле з потоком зчеплення ψ_f . Вектор магнітного зв'язку відстає від вектора струму на кут. Магнітне обертове поле створює вектор ЕРС в обмотках статора.

Амплітуда вектора ЕРС визначається виразом (8):

$$E = \psi f \omega, \quad (8)$$

де ω – електрична швидкість, яка визначається за формулою (9):

$$\omega = Zp\omega R, \quad (9)$$

де ωR - кутова швидкість ротора,

У фіксованій системі координат рівняння рівноваги статора мають вигляд (10, 11):

$$U_{S\alpha} = \frac{d\psi_{S\alpha}}{dt} + I_{S\alpha} R_S, \quad (10)$$

$$U_{S\beta} = \frac{d\psi_{S\beta}}{dt} + I_{S\beta} R_S. \quad (11)$$

У системі координат dq рівняння рівноваги, що обертається, мають вигляд (12 – 15):

$$U_{sd} = \frac{d\psi_{sd}}{dt} + I_{sd}R_s - \omega\psi_{sq}, \quad (12)$$

$$U_{sq} = \frac{d\psi_{sq}}{dt} + I_{sq}R_s + \omega\psi_{sd}, \quad (13)$$

$$U_{sd} = \frac{d\psi_{sd}}{dt} + I_{sd}R_s - \omega L_{sq}I_{sq}, \quad (14)$$

$$U_{sq} = \frac{d\psi_{sq}}{dt} + I_{sq}R_s + \omega L_{sd}I_{sd} + \omega\psi_f. \quad (15)$$

Електромагнітний крутний момент в електричній машині, що обертається (ЕМ) або сила в лінійній машині (ЛЕМ) виникає в результаті взаємодії струму і потокозчеплення статора.

Висновки за розділом

1. Процеси вібрації виникають під час руху транспортного засобу дорогою і збуджуються кінематичними збуреннями через нерівності дороги. Інтенсивність вібрацій залежить від інтенсивності збурень, а саме висоти та довжини нерівностей, а також від характеристик автомобіля та швидкісного режиму. Кінематичне збурення представляється як безперервна нестационарна функція залежності висот шороховатостей іноді з відповідними значеннями спектральної щільності висот шороховатостей.

2. Демпфуюча сила в електромагнітному АРЕ виникає, коли в провіднику при взаємодії з магнітним полем, що змінюється, виникає ЕРС, що індукуює тим самим електричний струм у провіднику. Величина демпфуючої сили і потужність, що генерується, пропорційні швидкості зміни магнітного поля і, отже, величині швидкості руху або швидкості обертання.

3. У розділі викладено теоретичні основи процесу рекуперації енергії за рахунок виникнення електричного струму в провідниках при їх взаємодії з магнітним полем, що змінюється в АРЕ під час деформації підвіски автомобіля при русі по нерівностях дорожнього покриття.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ АМОРТИЗАТОРА З РЕГЕНЕРАТИВНИМ ЕФЕКТОМ

3.1. Предмет дослідження

Для проведення дослідницьких випробувань на транспортному засобі, зовнішній вигляд якого показано на рис. 3.1, було встановлено комплект амортизаторів з регенеративним ефектом.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд автомобіля

Транспортний засіб приводиться в рух синхронним тяговим електродвигуном з збудженням від постійних магнітів, що відповідає планетарній передачі, з'єднаний через карданну передачу з конічною головною передачею привідного моста, що приводить в рух задні колеса. Тяговий двигун управляється перетворювачем потужності. Як джерело енергії на автомобілі встановлена високовольтна тягова літій-залізо-фосфатна батарея, що складається з двох акумуляторних контейнерів, з'єднаних послідовно. Акумулятор живить тягові двигуни та решту споживачів на борту. На борту є зарядний пристрій для заряджання. Автомобіль також оснащений додатковим низьковольтним свинцево-кислотним акумулятором для первинного введення в експлуатацію та можливої компенсації піків енергоспоживання у низьковольтній електромережі. Автомобіль має компресор для живлення

пневмосистеми та насос гідропідсилювача рульового керування з електроприводом. У таблиці 3.1 наведено основні технічні характеристики досліджуваного автомобіля.

Таблиця 3.1

Основні технічні характеристики досліджуваного автомобіля

Параметр	Значення
Загальна вага, кг	11900
Порожня вага, кг	6020
Габаритні розміри, довжина x ширина x висота, мм	7400x2550x3400
Максимальне навантаження на передню вісь, кг	4350
Максимальне навантаження на задню вісь, кг	7550
Максимальна швидкість, км/год	90
Максимально переборний ухил, %	20
Колісна формула	4x2
Тип приводу	Електричний
Тип тягового двигуна	Синхронне із збудженням постійними магнітами
Максимальна довготривала/короткочасна потужність, кВт	150/230
Максимальний довготривалий/короткочасний крутний момент, Н·м	550/760
Передатне число головної передачі/відповідна коробка передач	4,78 / 3,00
Розмір колеса	245/70 R19,5
Максимальний запас ходу, км	25

Характеристики тягового електродвигуна наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри тягового двигуна

параметр	Значення
Максимальний момент, Н·м	760
Максимальна потужність на валу, кВт	245

Номінальний крутний момент, Н·м	500
Номінальна потужність на валу, кВт	157
Момент інерції ротора, кг·м ²	0,102
Активний опір фази статора, Ом	0,0175
Індуктивність обмотки статора осі q, мГн	0,001057448
Індуктивність обмотки статора по осі d, мГн	0,000652
Потокозчеплення постійних магнітів, Вб	0,291
Вага, кг	86,5

На рисунку 3.2 показано механічні властивості двигуна.

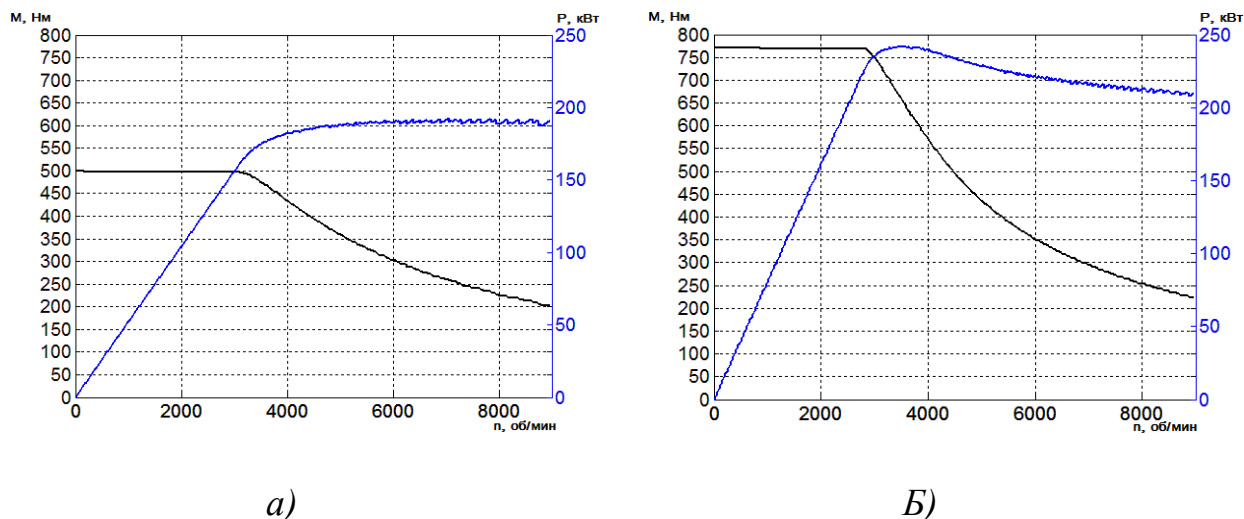


Рисунок 3.2 – Механічні властивості тягового двигуна

А- номінальний режим; б - короткочасний режим

Параметри тягової батареї, встановленої на транспортному засобі, наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Характеристики тягової батареї

Параметр	Значення
Енергоємність, кВт	26,6
Номінальна напруга,	660
Максимальна напруга,	547
Місткість акумулятора, А·год	40
Внутрішній опір, мОм	240 - 280

Під час випробувань автомобіль був завантажений на 50%. Загальна його вага становила 8960 кг. У реальних умовах експлуатації автомобілі зазвичай виконують транспортні операції у два етапи: рух порожнього автомобіля без вантажу до місця навантаження, рух завантаженого автомобіля до місця розвантаження. У першому випадку енергія, що рекуперується, вища через збільшення маси транспортного засобу, у другому випадку вона нижча з тієї ж причини при тій же швидкості. Оскільки основною метою дослідження є

підвищення ефективності транспортних процесів в сільському господарстві, а саме зниження витрат енергії або палива при використанні СЕД, підхід, який полягає в оцінці руху завантаженого транспортного засобу по всьому маршруту на 50%, виправданий і дозволяє досягти адекватних результатів. Такий підхід використовується під час аналізу паливної ефективності чи визначенні питомої витрати енергії на рух транспортного засобу.

ЕЕДП автомобіля (рис. 3.3) містить такі компоненти:

- чотири амортизатори регенеративної дії, по одному на кожне колесо. Кожний ARE включає трифазний синхронний генератор з постійними магнітами, позначений на схемі ARE1 ... ARE4. ARE це телескопічні електромагнітні амортизатори подвійної дії, які встановлюються на кожне колесо автомобіля. Нижня вушко ARE кріпиться до кронштейна опори переднього моста або привідного заднього моста, верхня - в кронштейні, прикріпленому до опорної системи салінблоками;
- два перетворювачі з управлінням амортизаторами (ПСУА1 – передній міст та ПСУА2 – задній міст), по одному на передній та задній міст автомобіля. PSUA управляє двома генераторами ARE;
- пристрій керування зарядкою БУЗ для заряджання високовольтної батареї або іншого накопичувача енергії;
- блок управління зарядкою БУЗ 24В для заряджання низьковольтного акумулятора.

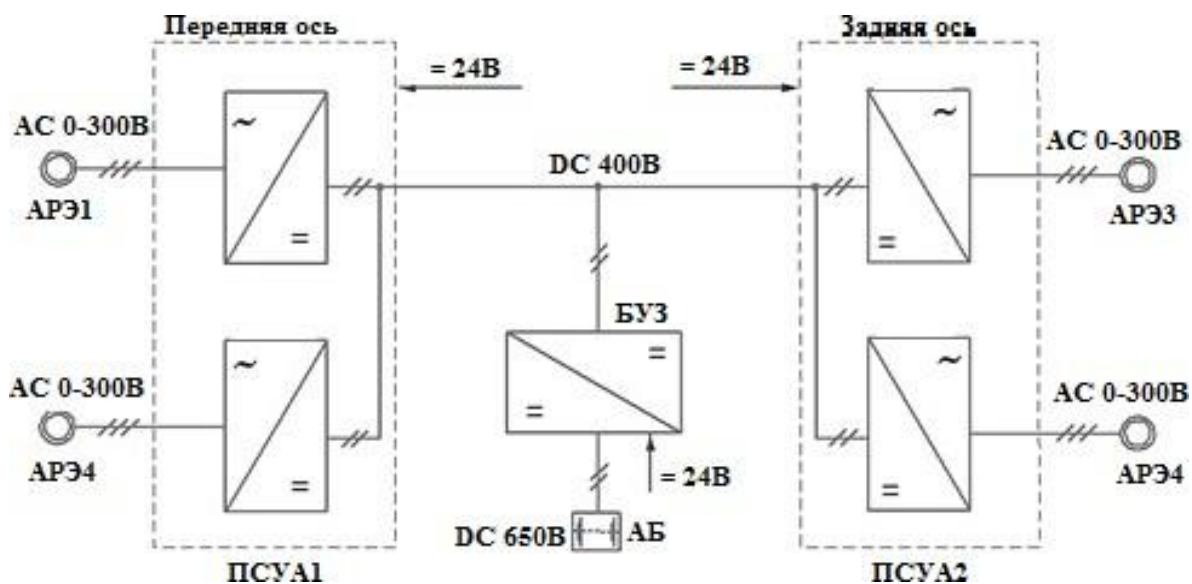


Рисунок 3.3 – Блок-схема системи

Щоб забезпечити необхідні характеристики демпфування під час відбою, паралельно амортизатору встановлені гідравлічні амортизатори з регенеративним ефектом. Ці амортизатори не чинять опору під час такту стиснення, оскільки не мають відповідної системи клапанів. Демпфування відскоку - це різниця між тим, що потрібно, і тим, що забезпечує регенеративний шок. При швидкості штока до 0,17 м/с при відбої сила становить від 850 до 1550 Н, при швидкості штока 0,52 м/с сила - від 2640 до 3560 Н. Під час такту стиснення сила дорівнює 0. На рисунку 3.4 показаний зовнішній вигляд демпфуючого вузла на правому передньому колесі. Зовнішній вигляд вузла гасіння вібрації однаковий всім коліс. Використання такого підходу дозволяє підвищити продуктивність автомобіля за рахунок дублювання пристроїв.



12

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд вузла, що демпфує
1 – амортизатор із регенеративним ефектом; 2 – ослаблений гідроамортизатор

На малюнку 3.5 показаний зовнішній вигляд ослабленого гідроамортизатора, встановленого паралельно АРЕ для забезпечення необхідної сили демпфування під час віддачі. На рисунку 3.6 показано зовнішній вигляд АРЕ.

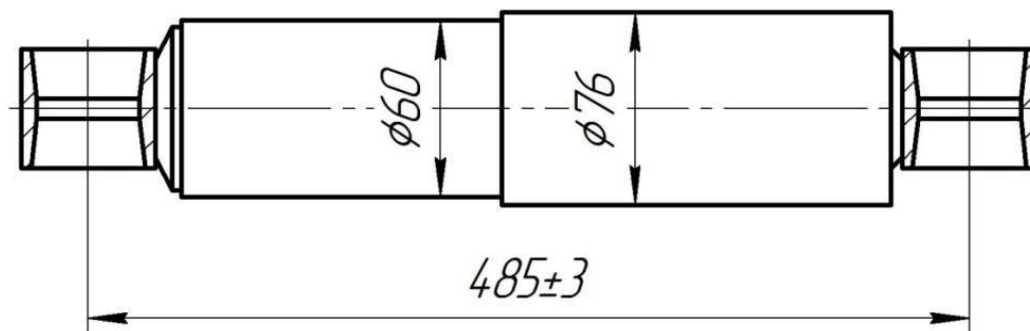


Рисунок 3.5 – Гідравлічно ослаблений амортизатор



А



Б

Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд амортизатора з регенеративним ефектом

А – стислий стан АРЕ; Б – розтягнутий стан АРЕ

Крім АРЕ для виконання функцій рекуперації енергії машина була оснащена інверторами із системою керування та електронними пристроями керування безпосередньо для заряджання. Перетворювачі потужності та блок управління зарядкою розташовувалися в салоні автомобіля (рис. 3.7). Також був персональний комп'ютер та вимірювальний комплекс із блоком системи вимірювань для проведення вимірювань.

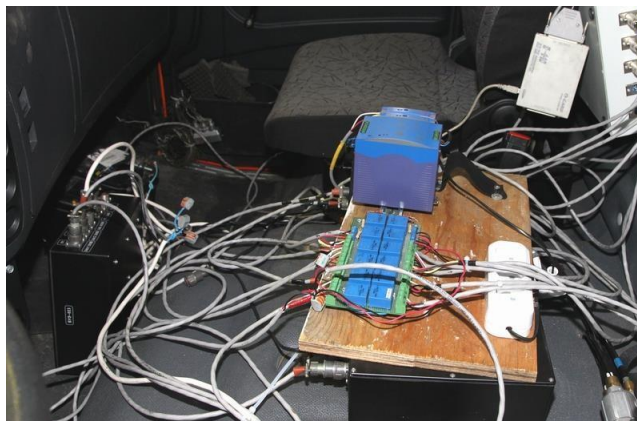


Рисунок 3.7 – Система управління системою налаштування та вимірювання АРЕ

Трифазна змінна напруга, що виробляється в генераторах АРЕ1...АРЕ4 при вертикальному переміщенні штока при русі по нерівних дорогах, надходить на випрямлячі ВМ (рисунок 3.8) силових перетворювачів управління амортизаторами ПСУА1 від АРЕ1 і АРЕ3 - амортизаторів переднього заднього моста, де воно перетворюється на пульсуючу напругу постійного струму. Потім випрямлена напруга надходить на блок підвищення напруги БНН. У блоках BONDS напрямок руху штоку визначається шляхом контролю чергування фаз генератора, а швидкість розраховується виходячи з частоти напруги, що генерується. За певним напрямком руху та швидкості штока силовий перетворювач визначає необхідний струм навантаження та регулює його шляхом зміни коефіцієнта заповнення ШІМ вимикача. Кожен АРЕ управляється незалежно. Виходи блоків БНН об'єднуються та підключаються до входу блоку БУЗ. Блок управління зарядкою БУЗ являє собою перетворювач, що підвищує, навантаженням якого є тяговий акумулятор. При необхідності підзарядки низьковольтного акумулятора заряджання здійснюється через блок керування зарядкою БУЗ 24В. Ця властивість може бути використана при використанні СЕД у сільськогосподарських машинах та тракторах, що не мають електроприводу та високовольтного джерела енергії.

3.2. Вимірювальні та записую пристрої

У рамках дослідження було зібрано такі дані:

- електричний струм та напруга, що виробляються кожним АРЕ;

- напруга та струм на вході блоку управління зарядкою БУЗ тягового акумулятора;
- струм та напруга зарядки акумулятора на виході блоку БУЗ.

Рух та швидкість переміщення стрижня АРЕ, електрична потужність, що повертається СЕД в накопичувач енергії, визначається шляхом обробки записаних даних. До блоку вимірювальної системи увійшли вимірювальні прилади та датчики, аналогічні вимірювально-реєструючим пристроям, що застосовуються в лабораторних дослідженнях.

3.3. Процедури та методи випробувань

Перед випробуванням автомобіль повинен бути обладнаний комплектом рекуперованих амортизаторів на кожному колесі, комплектом перетворювачів потужності, по одному на вісь, контролером заряду для накопичення енергії в акумуляторі та акумуляторною батареєю. Усі компоненти автомобіля мають бути в ідеальному стані.

Електрична потужність, що рекуперується амортизатором, оцінюється за сигналами датчиків струму та напруги на виході силових перетворювачів, що управляють електроамортизуючими машинами. При проведенні випробувань необхідно за допомогою системи збору даних записати серію даних з метою їх подальшої обробки та визначення максимальної та середньої електричної потужності при русі автомобіля по випробувальних дорогах і при мінімальних та максимальних значеннях швидкості. Під час вимірювань автомобіль рухається із постійною фіксованою швидкістю. Відстань, яку має подолати електромобіль, повинна становити щонайменше 1 км.

Матриця плану експерименту для визначення середньої потужності, що відновлюється, має форму, показану в таблиці 3.8. Як чинники, що впливають на значення потужності, що відновлюється СЕД, були обрані наступні фактори:

v – швидкість автомобіля – максимум 70 км/год, мінімум 30 км/год;

$x_{ср}$ - середня висота нерівностей дороги – максимальне значення 110 мм (грунтова дорога), мінімальне значення 9,5 мм (асфальтована дорога задовільної якості).

Таблиця 3.4

Матриця планування експерименту

№ експ.	фактори	
	<i>v</i> , км/год	<i>x_{ср}</i> , мм
1	70	110
2	70	9,5
3	тридцять	110
4	тридцять	9,5

Висновки за розділом

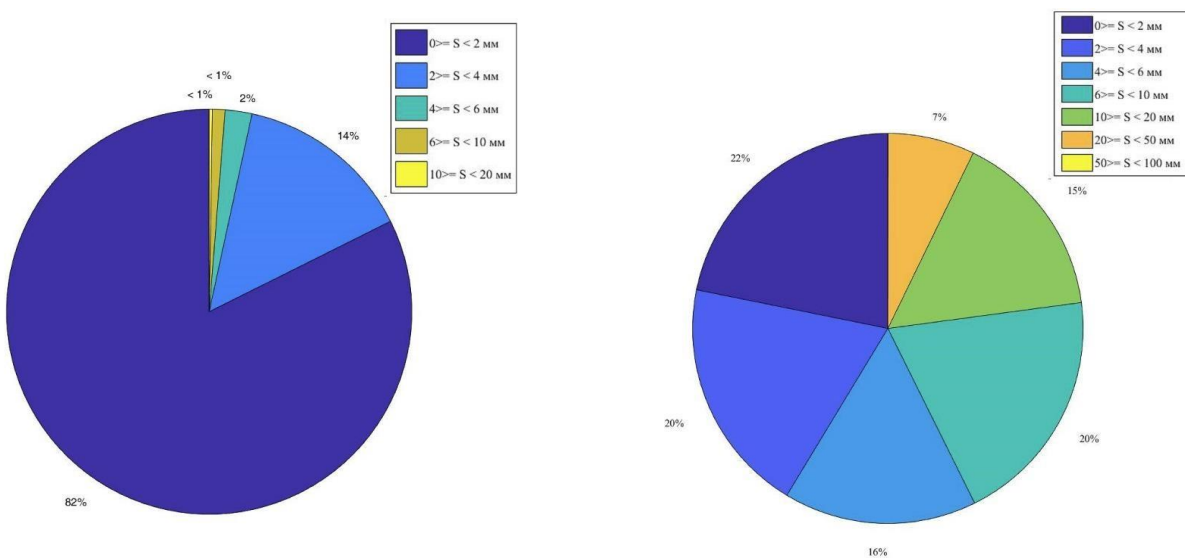
1. У цьому розділі представлена методика випробувань комплекту АРЕ у складі транспортного засобу, одиночного АРЕ при проведенні стендових досліджень, а також методика визначення найбільш типових режимів роботи ЕД.

2. Для того, щоб пред'являти обґрунтовані вимоги до ЕРА у складі систем підвіски та враховувати особливості роботи ЕРА у складі автомобіля, необхідно вивчити роботу амортизаторів. У ході дослідження необхідно визначити найбільш типовий і найпоширеніший режим у роботі. Перевірка роботи АРЕ на відповідність технічним вимогам здійснювалася за допомогою лабораторних досліджень, які полягали в реєстрації електричних та механічних параметрів роботи при фіксованих швидкостях переміщення стержня АРЕ на стенді.

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ АМОРТИЗАТОРІВ З РЕГЕНЕРАТИВНИМ ЕФЕКТОМ

4.1. Аналіз результатів дослідних випробувань амортизаторів

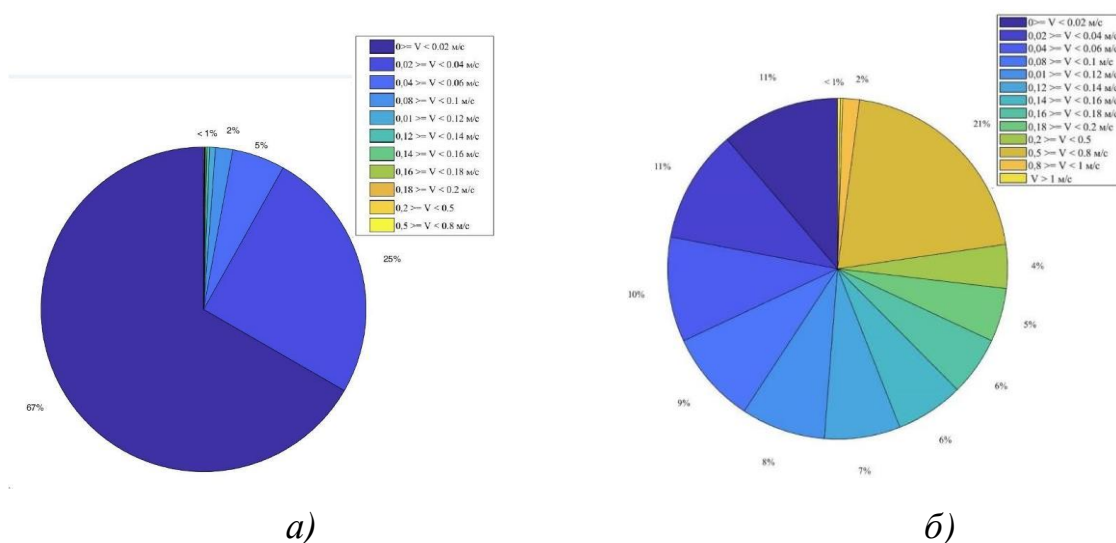
Дослідження щодо визначення умов роботи амортизаторів проводилися на вантажному автомобілі, зовнішній вигляд якого представлений на рисунку 3.1, технічні характеристики – у таблиці 3.1. Під час реєстрації транспортний засіб рухався у транспортному потоці та зі швидкостями відповідно до розділу 3.1. На рисунках 4.1 та 4.2 показані відсотки виникнення зсувів штока амортизатора та швидкості від загального часу руху.



а)

Б)

Рисунок 4.1 – Розподіл рухів штока амортизатора
А– рух асфальтом; б – рух ґрунтовими дорогами



а)

б)

Рисунок 4.2 – Розподіл швидкостей штока амортизатора
а– рух асфальтом; б – рух ґрунтовими дорогами

У таблиці 4.1 представлені результати обробки експериментальних даних автоперегонів. В ній зазначено S_{av} - середнє переміщення штока під час руху, S_{max} - максимальне переміщення штока під час руху, V_{max} - максимальна швидкість штока під час руху і V_{av} - середнє значення швидкості штока під час руху, a_{max} - максимальне прискорення штока під час руху, a_{cp} - середнє значення прискорення стрижня.

Таблиця 4.1. Результати обробки експериментальних даних при тест-драйвах одиночного автомобіля

Режим руху	S_{av} , мм	S_{max} , мм	V_{max} , м/с	V_{av} , м/с	a_{max} , Г	a_{cp} , Г
Асфальт, 30 км/год	$17,6 * 10^{-5}$	20	0,40	0,020	2,5	0,13
Асфальт, 50 км/год	$25 * 10^{-5}$	23	0,41	0,030	2,1	0,16
Асфальт, 70 км/год	$29 * 10^{-5}$	23	0,50	0,038	2,7	0,19
Ґрунтова дорога, 30 км/год	$38,5 * 10^{-5}$	88	2,48	0,110	13,4	0,59
Ґрунтова дорога, 45 км/год	$23,6 * 10^{-4}$	78	1,54	0,130	23,0	0,64
Ґрунтова дорога, 60 км/год	$22 * 10^{-4}$	47	1,26	0,148	6,4	0,74

Аналіз експериментальних даних показує, що основними особливостями, що впливають на вибір конструкції АРЕ для вантажних автомобілів є те, що 87-99% часу роботи проходить при постійних середніх переміщеннях штока не більше 0,5-1 мм та при малих швидкостях руху (до 0,2 м/с), з періодичними «сплесками» швидкості штока до 1,5 – 2,5 м/с із переміщеннями до 80 – 90 мм.

4.2. Рекомендації щодо конструкції амортизатора

При проектуванні АРЕ необхідно вибрати номінальний розрахунковий режим роботи ЕД зі швидкістю обертання або швидкістю лінійного переміщення, що відповідає швидкості руху штока 0,2 м/с і домогтися швидкої зміни магнітного потоку у повітряному зазорі. В цих режимах роботи важливо забезпечити максимально можливу конструктивну ефективність. Оскільки всі

підвісні вузли піддаються підвищеному впливу пилу та вологи, необхідно проектувати конструкцію з пінополістиролу з рівнем пиловологозахисту не нижче IP 67.

За результатами аналізу експериментальних даних АРЕ піддається великим динамічним ударам, тому конструкція має витримувати динамічні удари від нерівностей дороги із прискореннями до 20 g – група механічного виконання М30. АРЕ повинен мати високі показники як питомої потужності (не менше 1,0 - 1,5 кВт/кг), сили (не менше 700 - 1000 Н/кг) та питомої потужності (не менше 6,8 - 7,2 кВт/л) та сили (не менше 2500 – 3000 Н/л). Для задоволення цих вимог необхідно використовувати у конструкції синхронні генератори з постійними магнітами з високими значеннями залишкової індукції та коерцитивної сили.

Зважаючи на особливості роботи амортизатора при ударах, що його розтягують і стискають у протилежних напрямках необхідно забезпечити односпрямований рух рухомих частин (ротора або транслятора), що у свою чергу знижує інерцію АРЕ. З цією метою конструкції рухомих частин АРЕ слід проектувати так, щоб вони мали мінімально можливий момент інерції при збереженні необхідної міцності.

На основі аналізу рівняння динамічної рівноваги статора слідує, що потужність, що відновлюється, і характеристики демпфування прямо пропорційні зміні потокозчеплення (частини магнітного потоку, пов'язаної з обмотками статора). Чим більше значення похідної магнітного зв'язку в часі, тим більше напруга на фазах. Одним із способів збільшення похідного магнітного зв'язку за часом є збільшення числа витків фазної обмотки. Однак у цьому випадку збільшується і опір фазної обмотки. Крім того, чим більше витків, тим нижче коефіцієнт заповнення паза міддю через велику кількість ізоляції. Тому фазовий опір збільшується швидше, ніж похідна магнітного зв'язку. Збільшити швидкість зміни потокозчеплення можна за рахунок зменшення кроку полюсів при одночасному збільшенні кількості пазів для розміщення фазної обмотки, що також призводить до збільшення фазного опору. За рахунок збільшення швидкості руху постійних магнітів щодо обмоток статора безпосередньо збільшується швидкість зміни магнітного поля

та потокозчеплення. Для збільшення швидкості руху постійних магнітів необхідно використання механічних проміжних ланок, наприклад перетворення поступального руху в обертальний.

4.3. Аналіз результатів дослідних випробувань комплекту амортизаторів у складі транспортного засобу

У ході тестових запусків здійснювалися захоплення та запис значень сигналів від датчиків струму та датчиків напруги на виходах блоків БПУА та БУЗ функціональної схеми (рисунок 3.3).

Перегони проводилися з фіксованими швидкостями дорогою згідно з матрицею планування експерименту. В результаті математичної обробки записаних сигналів було розраховано пікові та середні показники відновленої електричної потужності комплекту АРЕ. На рисунках 4.3 - 4.8 показані залежності струму $I_{буз}$ та напруги $U_{буз}$ на виході БУЗ, що заряджає акумулятор, та значення миттєвої електричної потужності зарядки $P_{буз}$ (показані перші 32 секунди руху).

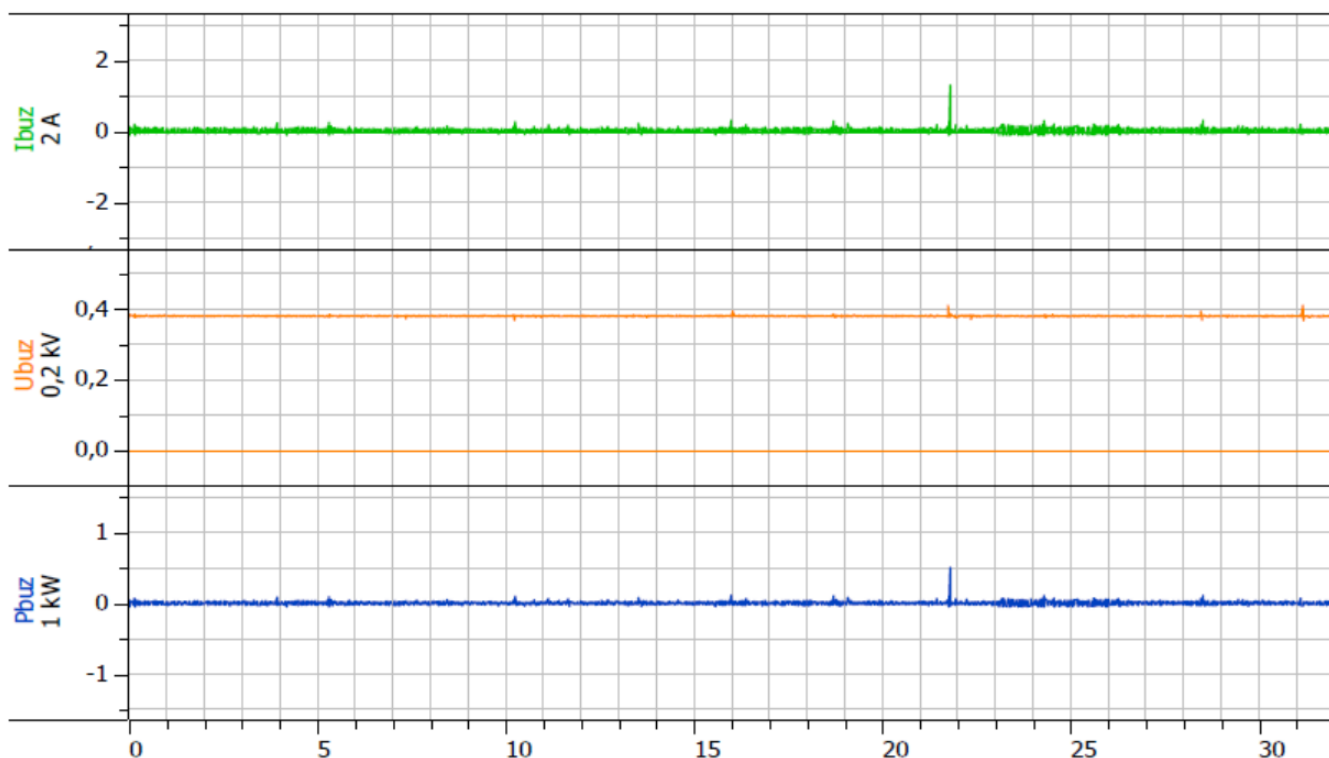


Рисунок 4.3 – Осцилограми струмів і напруг під час руху автомобіля зі швидкістю 30 км/год асфальтованою дорогою

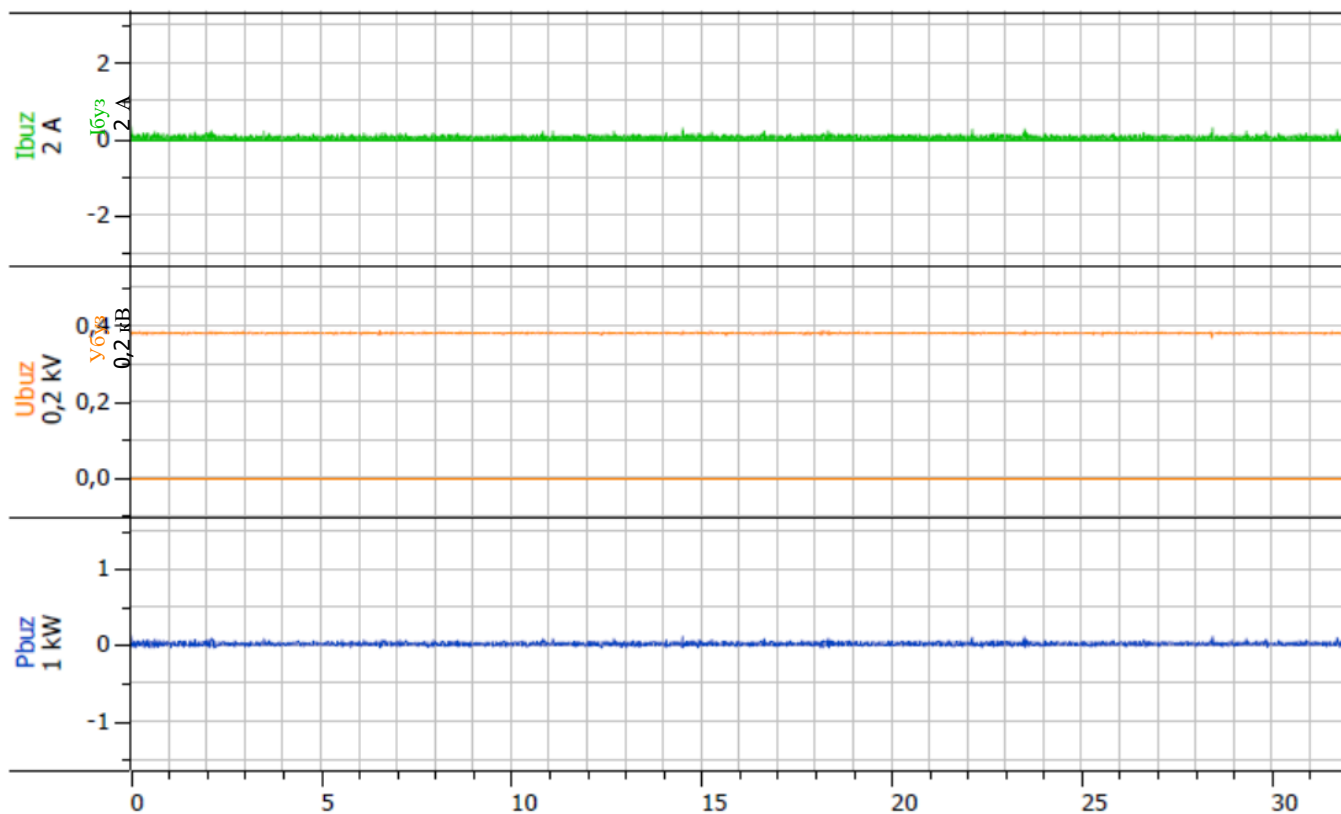


Рисунок 4.4 – Осцилограми струмів і напруг під час руху автомобіля зі швидкістю 50 км/год асфальтованою дорогою

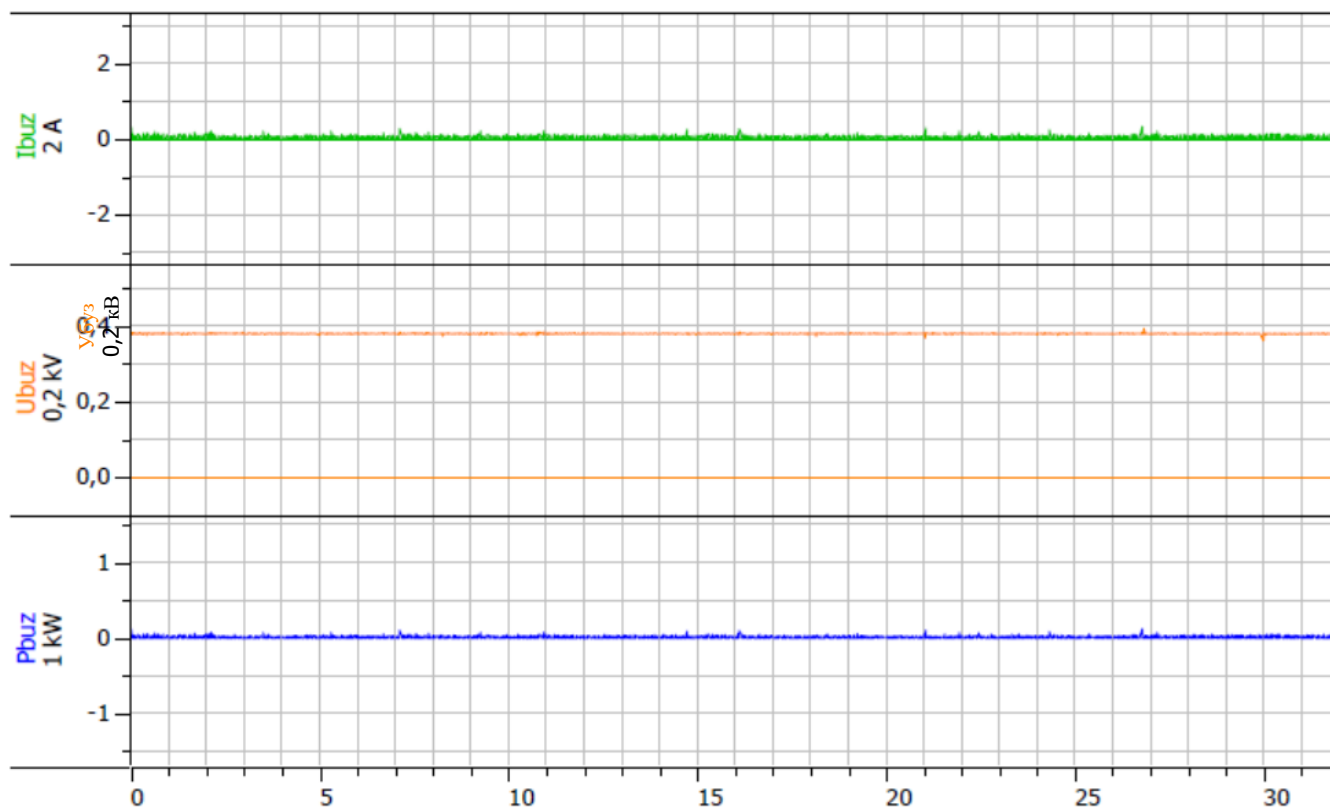


Рисунок 4.5 – Осцилограми струмів та напруг під час руху автомобіля зі швидкістю 70 км/год асфальтованою дорогою

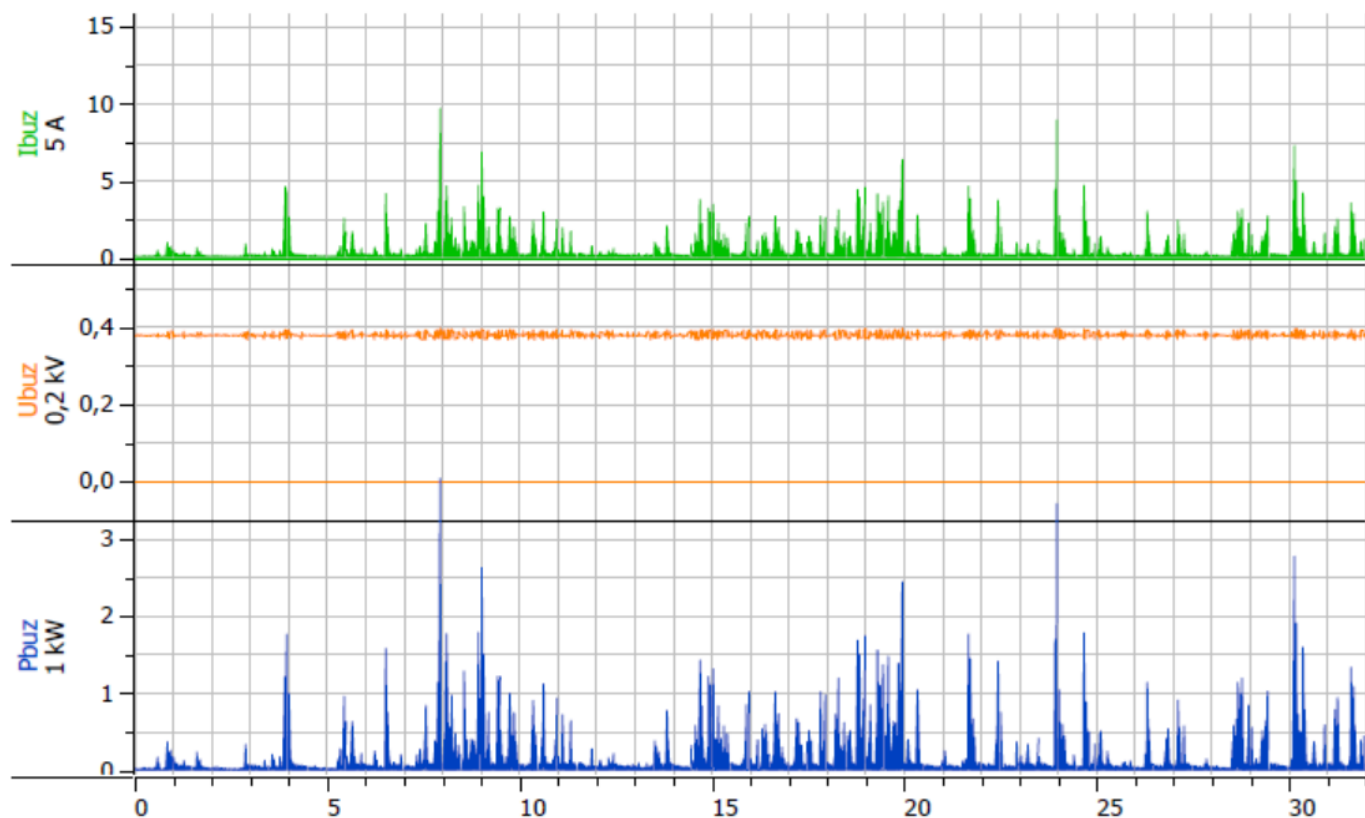


Рисунок 4.6 – Осцилограми струмів та напруг під час руху автомобіля зі швидкістю 30 км/год ґрунтовою дорогою

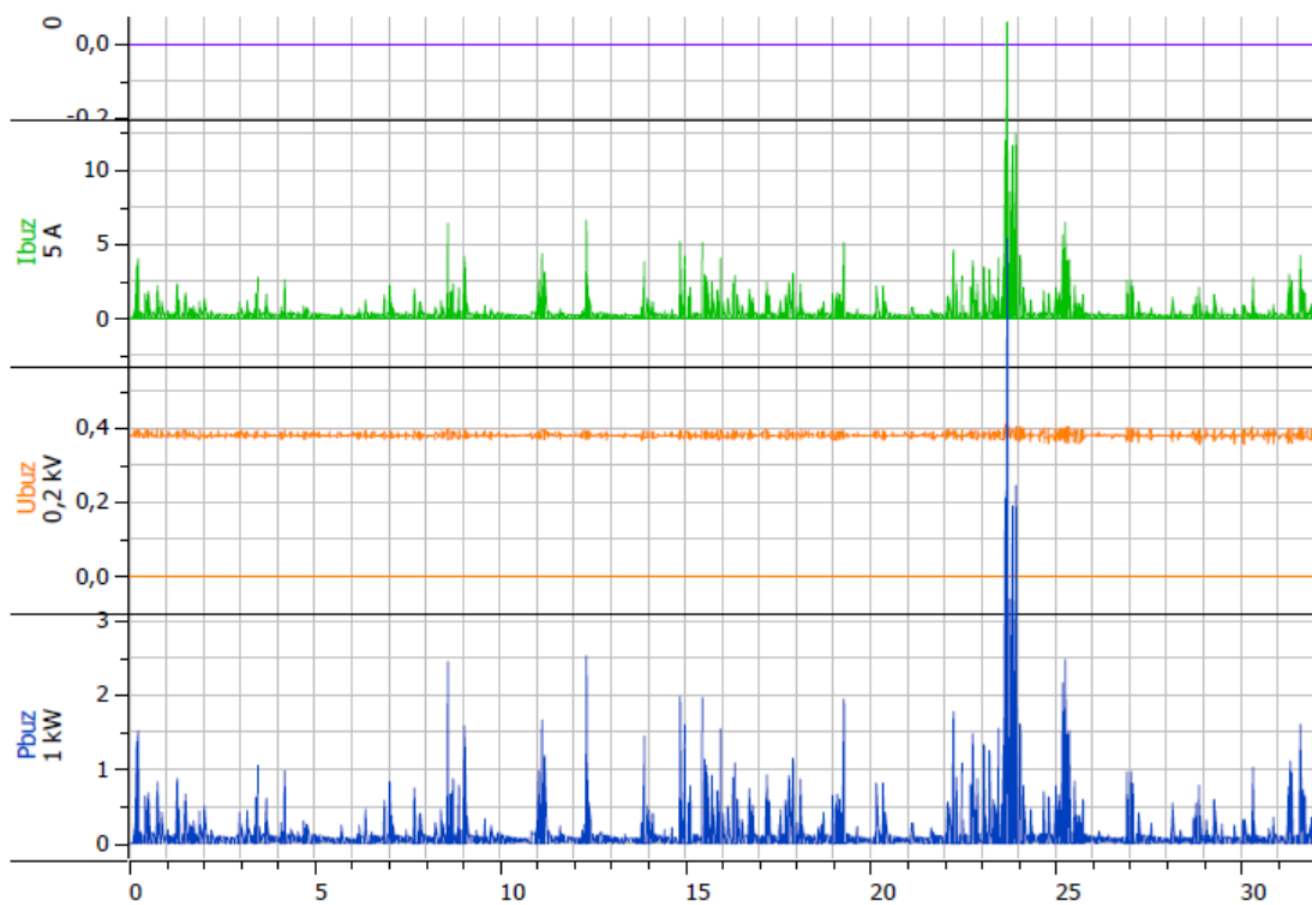


Рисунок 4.7 – Осцилограми струмів і напруг під час руху автомобіля зі швидкістю 45 км/год ґрунтовою дорогою

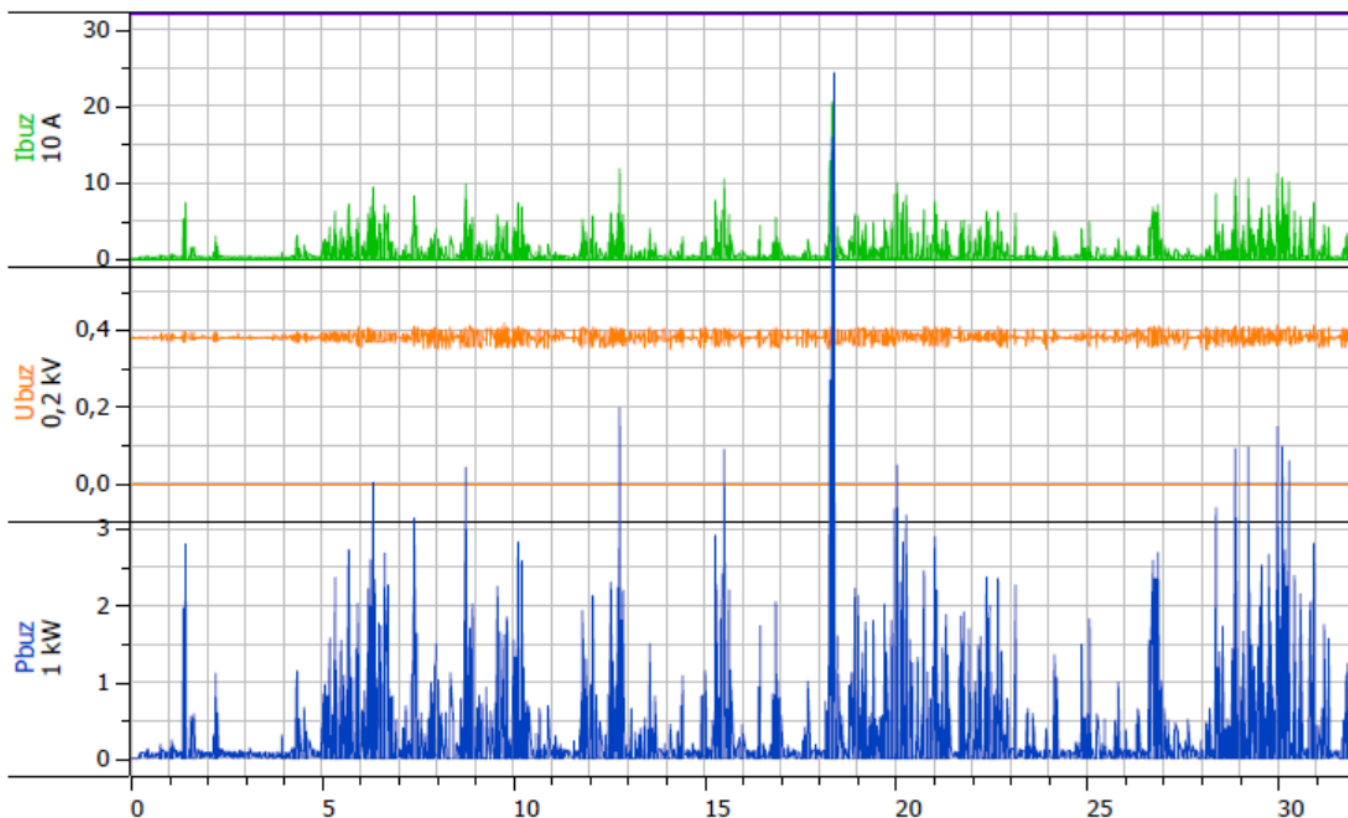


Рисунок 4.8 – Осцилограми струмів і напруг під час руху автомобіля зі швидкістю 60 км/год грунтовою дорогою

У таблиці 4.3 представлена матриця обробки результатів випробувань. Максимальне значення фактора, що впливає, позначається знаком +, мінімальне значення - знаком -. Результати обробки вимірювань середньої відновленої потужності позначені як y_i .

Таблиця 4.3

Матриця обробки результатів експерименту

№ експ.	фактори		Взаємодіяти.	Результати, Вт			Середнє
	v	x	$v \text{ hcp}$	$y1$	$y2$	$y3$	
1	+	+	+	314	315	302	310
2	+	-	-	18	17	16	17
3	-	+	-	90	108	105	100
4	-	-	+	3	3	3	3

Рівняння регресії в кодованих змінних має вигляд:

$$y = 107,83 + 55,83x_1 + 97,83x_2 + 48,83x_1x_2$$

На основі рівняння регресії можна зробити висновок, що якість дороги найбільше впливає на вартість рекуперованої енергії. У міру збільшення швидкості руху і погіршення середньої висоти нерівностей або погіршення дорожніх умов кількість потужності, що рекуперується, збільшується.

Висновки за розділом

1. Наявні в даний час розробки систем вібрації рекуперації енергії на основі амортизаторів з регенеративним ефектом використовують електричний генератор для накопичення енергії для подальшого використання.

2. Результати випробувань показують, що величина потужності, що рекуперується, набагато більше залежить від якості дорожнього покриття, ніж від швидкості електромобіля. Так, збільшення швидкості в 2 рази призводить до збільшення потужності, що відновлюється, в 2 рази, а перехід з асфальту на ґрунтову дорогу при тій же швидкості дозволяє на порядок збільшити збільшення відновлюваної потужності – в 30 разів.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Безпека праці під час діагностування і ремонту автомобілів

Технічне обслуговування й ремонт автомобілів виконують у призначених для цього місцях (на постах). На робочих місцях мають забезпечуватися безпечні умови для проведення робіт; обладнання, інструмент та прилади мають відповідати характеру виконуваної роботи й унеможливлувати травматизм. Під час роботи наявні небезпечні і шкідливі чинники: термічні фактори (опіки гарячою рідиною, концентрованими лужними розчинами, полум'ям); підвищена відносна вологість повітря, недостатня освітленість, уламки металу, що відлітають при випресовуванні та запресовуванні пальців, підшипників, валів, осей, при рубанні металу; умови для ураження електричним струмом, падіння працівників, падіння деталей, вузлів і агрегатів; наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин (акролеїну, вуглецю оксиду, вуглеводнів аліфатичних граничних тощо).

У разі примусового переміщення автомобілів з поста на пост потокової лінії передбачають світлову або звукову сигналізацію. Після сигналу про початок пересування робітники повинні покинути робочі місця, вийти з оглядової ями.

Електричне обладнання діагностичного стенда з біговими барабанами (пульт керування, апаратні шафи, блоки барабанів тощо) має бути надійно заземлене.

Наприкінці зміни слід вимкнути рубильник стенда, закрити крани паливних баків, перекрити вентиль подачі стисненого повітря.

Під час роботи під перекинутою кабіною автомобіля положення обмежувача треба зафіксувати защіпкою, в разі опускання кабіни — надійно закрити запірний механізм і правильно встановити запобіжний крюк у пазу опорної балки.

Пуск двигуна треба здійснювати стартером, як виняток - пусковою рукояткою. Аби уникнути травмування кисті, рукоятку слід брати так, щоб всі пальці правої руки розташовувалися по один бік ручки. Повертати колінчастий вал треба тільки знизу вгору, довкола - забороняється.

Регулювальні роботи з двигуном, що працює, слід виконувати на спеціальному посту з місцевою вентиляцією для видалення відпрацьованих газів. Забороняється підтягувати деталі газобалонного обладнання автомобілям виконувати інший

ремонт, якщо у вузлах і трубопроводах є газ під тиском.

У приміщеннях для ТО й ремонту автомобілів забороняється залишати порожню тару з паливом та мастильними матеріалами. Розлите паливо або оливу слід негайно прибрати, використовуючи пісок чи тирсу. Після завершення роботи всі використані ганчірки слід скласти у спеціальну тару.

Технічне обслуговування й ремонт приладів системи живлення, знятих з автомобіля, виконують у цеху (на дільниці). Біля ванни для миття деталей системи живлення, біля верстаків для розбирання-складання, перевірки й регулювання приладів, а також біля токарного верстата мають бути вентиляційні відсмоктування.

Роботи, пов'язані із зачищенням деталей перед паянням та лудінням, виконують на робочих місцях, обладнаних місцевою вентиляцією. Паливні баки й тару з-під пальних сумішей перед ремонтом треба промити гарячою водою, пропарити гострою парою, промити каустичною содою та просушити гарячим повітрям. Перед паянням і заварюванням слід відкрити пробки.

Займання треба гасити за допомогою вогнегасників, піском або струменем розпиленої води. Балони з газом слід поливати холодною водою, щоб запобігти підвищенню тиску в них.

Роботи з акумуляторними батареями треба виконувати в ізольованих приміщеннях із дотриманням вимог безпеки, викладених нижче. Усі особи, які причетні до роботи з акумуляторними батареями, повинні пройти спеціальний інструктаж з техніки безпеки.

У разі потрапляння електроліту або кислоти на шкіру необхідно негайно змити їх водою, 10 %-м розчином соди чи нашатирного спирту.

Закінчивши роботу з акумуляторами, перед уживанням їжі треба прополоскати рот і старанно вимити руки гарячою водою з милом. Заходити в їдальню в спецодязі забороняється.

На робочих місцях мають бути аптечки з йодом, ватою, марлею та 10%-м розчинами соди й нашатирного спирту. Питну воду слід зберігати у шафі в закритій місткості. При акумуляторному цеху мають бути обладнані роздягальня та вмивальня з шафами для зберігання домашнього одягу й окремо — спецодягу.

Зварювальні, кузовні, фарбувальні роботи слід виконувати в окремих ізольованих приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією.

Демонтаж і монтаж шин автомобілів слід здійснювати на спеціально відведених місцях (постах). Перед демонтажем шини потрібно випустити повітря з камери. Під час накачування необхідно стежити за показами манометра, не допускаючи підвищення тиску повітря в шині понад установлену норму.

Миття автомобілів, агрегатів і деталей здійснюють на мийній дільниці, підлога якої має вологостійке покриття та уклон для стікання рідини. Дільницю обладнують припливно-витяжною вентиляцією, а мийні ванни - витяжними зонтами. Перед приготуванням і використанням мийних розчинів слід надягти гумові фартух, чоботи, рукавички, а також захисні окуляри.

5.2. Заходи електробезпеки у відділенні діагностики

Згідно вимог правил встановлення електрообладнання виробничі приміщення класифікуються по ступеню безпеки ураження людини електричним струмом.

Проектована дільниця відноситься до особливо небезпечних приміщень, так як вона характеризується за наступними ознаками:

- струмопровідна підлога – залізобетонна;
- в приміщенні виділяється струмопровідний пил;
- застосовуються змашувально-охолоджувальні суміші;
- не виключене одночасне дотикання до корпусів обладнання, що може бути під напругою і до заземлених частин будівлі;
- згідно рекомендацій [27-28] на дільницях застосовують трифазну ,чотири провідну електричну мережу з заземленою нейтраллю.
- напруга в мережі 220/380 В.

Мережа з заземленою нейтраллю застосовується там, де неможливо забезпечити добру ізоляцію проводів при тривалому ремонті пошкодженої ізоляції проводів.

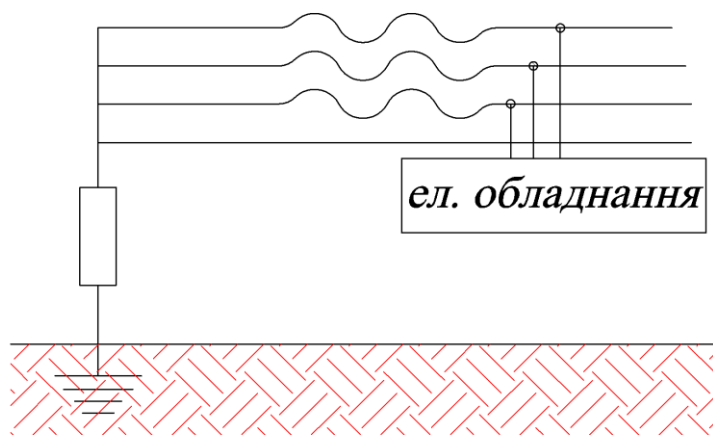


Рисунок 5.1 – Схема трифазної чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю

Основними причинами нещасних випадків від дії електричного струму є:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- поява напруги на металічних конструктивних частинах електрообладнання – корпусах, кожухах і т.п. – в результаті пошкодження ізоляції та інших причин;
- поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання проводу на землю [27-28].

Необхідність застосування занулення пояснюється областю застосування – трифазні, чотири провідні мережі з напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю.

Зазвичай це мережі з напругою 220/380 В, що широко використовуються в машинобудуванні та інших галузях народного господарства [27-28].

Призначення нульового захисного щитка – створення для струму короткого замикання мережі з малим опором, щоб цей опір був достатнім для швидкого відключення пошкодженої установки.

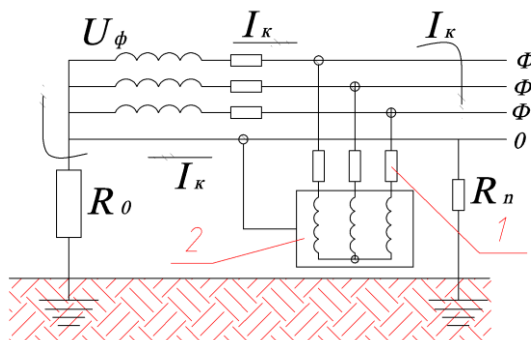


Рисунок 5.2 – Принципова схема занулення:

1 – корпус; 2 – апарати для захисту від струму короткого замикання (плавкі запобіжники та ін.); R_0 – опір заземлення нейтралі джерела струму; R_i – опір повторного заземлення нульового провідника; I_k – струм короткого замикання.

На виробничій ділянці передбачені наступні заходи по забезпеченню електробезпеки:

- кожен верстат має вимикач ручної дії, що розміщений в безпечному місці;
- двері шаф з електрообладнанням блоковані вимикачем таким чином, щоб двері шафи не відкривались при його ввімкненому положенні і електрообладнання не можна було вимкнути при його відкритих дверях, передбачена можливість відключення блокування для перегляду і перевірки апаратури;
- для живлення світильників місцевого освітлення з лампами розжарювання застосовують напругу не більше 24 В;
- для світильників місцевого освітлення передбачені окремі вимикачі.

5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

На сьогодні природно-техногенна безпека для населення і території зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами, промисловими аваріями та катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невідомо зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

Згідно із Кодексом цивільного захисту України за організацію цивільної оборони на підприємстві відповідає керівництво. Керівництво підприємств повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створювати загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

У системі цивільного захисту підприємства необхідно забезпечити:

- інформування та організація захисту;
- можливість укриття населення у захисних спорудах;
- використання засобів індивідуального і медичного захисту;
- будівництво захисних споруд, насадження лісосмуг.

Основні положення Женевської конвенції щодо захисту жертв війни та додаткових протоколів до неї, можливого характеру воєнних дій, реальних можливостей держави щодо створення матеріальної бази захисту. З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій потрібно проводити спеціальні комплекси заходів.

Інформування населення, яке досягається завчасним створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної, територіальних та об'єктових систем оповіщення населення.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Інженерний захист проводять з метою виконання вимог щодо розміщення потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), інженерних споруд та інше.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

РОЗДІЛ 6. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ АМОРТИЗАТОРІВ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ

Ефективність використання амортизаторів з рекуперацією енергії визначається рівнем виробленої ними потужності.

На рис. 6.1 показано залежність вироблюваної потужності АРЕ від швидкості руху автомобіля та висоти нерівностей дороги.

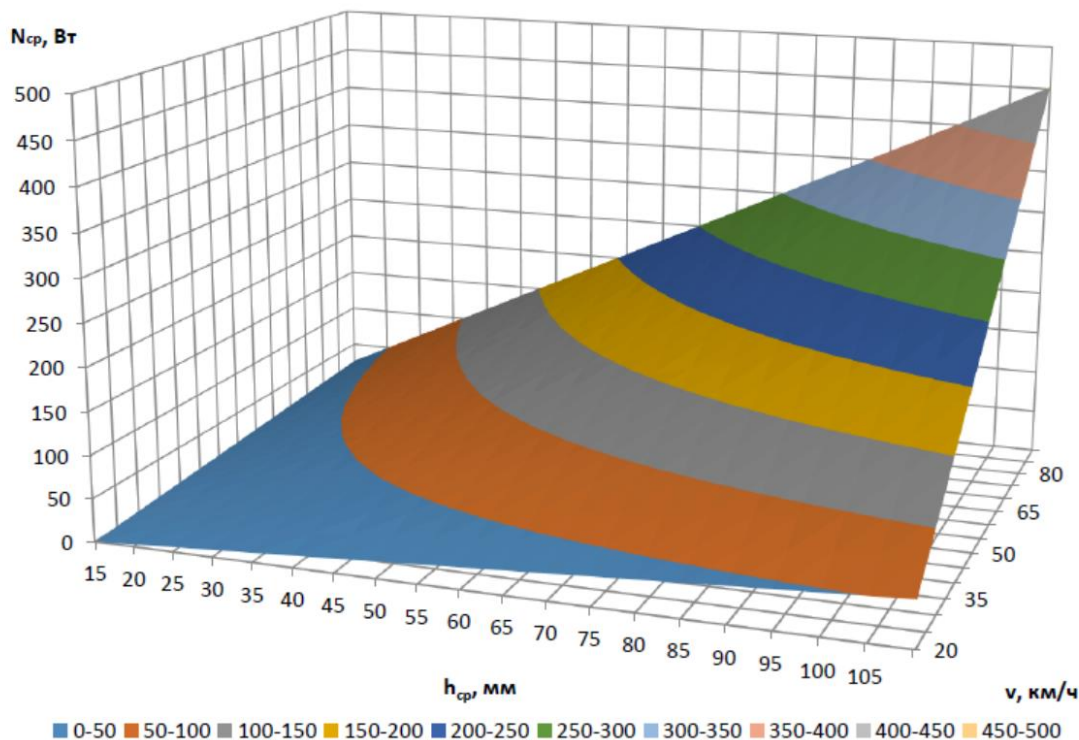


Рисунок 6.1 – Залежність ефективної потужності, що виробляється від швидкості руху автомобіля і висоти нерівності дороги

Результати визначення середньої та максимальної пікової потужності на основі математичної обробки зареєстрованих даних у ході дослідницьких випробувань представлені у таблиці 6.1. Значення максимальної пікової потужності відповідають максимальному миттєвому значенню потужності, що відновлюється під час руху. Середнє значення продуктивності визначається як середнє арифметичне всіх розрахованих значень за тестовий запуск. Значення потужності записувалися на виході шини.

Таблиця 6.1

Пікові та середні показники рекуперованої електричної потужності
комплекту амортизаторів

Ім'я параметра	Значення
Асфальтобетонна дорога	

Нпiк, $v = 30$ км/год, кВт	0,048
Нав, $v = 30$ км/год, кВт	0,003
Нпiк, $v = 50$ км/год, кВт	0,373
Нав, $v = 50$ км/год, кВт	0,013
Нпiк, $v = 70$ км/год, кВт	0,907
Нав, $v = 70$ км/год, кВт	0,017
брудна дорога	
Нпiк, $v = 30$ км/год, кВт	4240
Нав, $v = 30$ км/год, кВт	0,100
Нпiк, $v = 45$ км/год, кВт	8500
Нав, $v = 45$ км/год, кВт	0,210
Нпiк, $v = 60$ км/год, кВт	10 100
Нав, $v = 60$ км/год, кВт	0,310

Дослiдницькi випробування, проведенi з ARE у складi автомобiля, продемонстрували його функцiональнiсть. Спостерiгався рекуперативний ефект та нагромадження енергiї у накопичувачi.

Процес рекуперацiї енергiї в накопичувачi, створюваному комплектом ARE при русi ґрунтовими дорогами, супроводжується зарядними струмами бiльшої величини 7,5 - 10 А i бiльшої щiльностi, що супроводжуються стрибками зарядного струму, якi перевищують максимальне середнє значення у 2 рази – до 30 А . Процес зарядки при русi асфальтобетонною дорогою характеризується малими струмами (менше 0,5 А) i малою щiльнiстю. Можливи перенапруги до 1А.

Щоб знизити втрати енергії під час перетворення, рекомендується використовувати амортизатор, який використовує електромеханічний принцип перетворення.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. На підставі проведеного аналізу встановлено, що найбільш придатними для використання в конструкції амортизаторів з рекуперативним ефектом є синхронні генератори на постійних магнітах. Їх вибір підтверджується високою питомою потужністю, що генерується, і зусиллям (крутним моментом), що розвивається, а також щільністю потужності. Ці генератори компактні, надійні та прості у використанні.

2. Запропоновано конструкцію амортизатора з регенеративним ефектом, що ґрунтується на принципі досягнення регенеративного ефекту амортизаторів, що полягає у перетворенні частини енергії механічних коливань на електричну енергію, яку з користю використовують у транспортних засобах.

3. Для комплексних досліджень амортизаторів з регенеративним ефектом розроблено методику, що складається зі стендових випробувань при різних швидкостях та величинах ходу, а також натурних випробувань на автомобілі на різних дорогах при фіксованих швидкостях.

4. Для посилення регенеративного ефекту необхідно збільшити швидкість зміни магнітного потоку в електричній машині за допомогою електрогенератора, що обертається, і проміжного редуктора.

5. Швидкість руху та завантаження автомобіля однаково впливають на енергію, що виробляється амортизаторами. Коли швидкість подвоюється, енергія, що виробляється, подвоюється. Те саме співвідношення можна застосувати і до маси транспортного засобу. Енергія, що виробляється амортизатором, прямо пропорційна квадрату активного діаметра електричної машини. При збільшенні діаметра вдвічі потужність збільшується в 3,8-4 рази.

6. Нерівності дороги мають найбільший вплив на кількість енергії, що виробляється. Коли умови руху змінюються з асфальтованої дороги на ґрунтову і автомобіль рухається з тією ж швидкістю, енергія збільшується у 30 разів.

7. Експериментальні дослідження показують, що використання амортизаторів з регенеративним ефектом призводить до зниження питомої витрати енергії або палива, в середньому на 4,23-4,7% для транспортних машин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кисликов В., Лищук В. Будова і експлуатація автомобілів . Вид. Либідь.К.: 2018. 400 с.
2. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобіля. Львів: Видавництво НУЛП, 2004. 168 с.
3. Гряник І. М., Лахман С.Д. та інші Охорона праці: Київ: Урожай. 1994. 187с.
4. Клименко Л. П., Прищепов О.Ф., Андреев В. І., Голдун В. Ю. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами : [навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів]. Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. 132 с.
5. Гутаревич Ю. Ф. Зеркалов Д.В., Говорун А.Г Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник. К.:Арістей, 2006.292 с.
6. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Львів: Видавництво НУЛП, 2006. 440с.
7. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Київ: Знання-Прес, 2003. 511 с.
8. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів, монографія. Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014. 230 с.
9. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання. Навчальний посібник .Вища школа, 2001. 180с.
10. Шевчук Р.С. Трактори і автомобілі: основи теорії (питання, завдання та відповіді): навчальний посібник). Львів:Львівський національний аграрний університет, 2016. – 236 с.
11. Грицук І.В., Вербовський В.С., Володарець М.В., Краснокутська З.І., Погорлецький Д.С., Бородін С.І. Особливості розробки циклу теплової підготовки транспортного двигуна за допомогою теплового акумулятора / Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет 33 конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 20-21 листопада 2017 р ХНАДУ, Харків, 2017, С. 25 – 27.

12. Двигуни внутрішнього згоряння : [підручник]: у 6 т. / [за редакцією проф. А. П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А. Ф. Шеховцова].:Т. 2 : Доводка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. – Харків : Видавн. центр НТУ «ХП», 2004. 367 с.

13. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів: Підручник. К.: Каравела, 2009. 400с.

14. Дяченко В.Г., Саловський В.С., Кропівний В.М. Розрахунок автомобільних двигунів. Навчальний посібник; За ред. к.т.н. В.Г. Дяченка, к.т.н. В.С. Саловського. Кіровоград: КДТУ, 2003. 266 с.

15. Бороденко Ю.М., Дзюбенко О.А., Биков О.М. Діагностика мехатронних систем автомобіля. Харків: ХНАДУ, 2015. 263 с.

16. Сажко В.А. Електричне та електронне обладнання автомобілів. К.: Каравела, 2004.-304с.

17. Навчальне середовище «Electude» / Електронний ресурс, режим доступу: <https://lnau.electude.eu>.

18. Електронні системи управління / Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://www.autoezda.com/electr/.html>.

19. Електронне і електричне обладнання автомобілів / Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/30/6-30-mzs173.pdf>.

20. Сінчук О. М., Козакевич І. А., Юрченко М. М. Бездатчикове керування вентильними реактивними двигунами тягових електромеханічних систем. Технічна електродинаміка. 2017. № 5. С. 62–66.

21. Косенко Р. А. Моделювання системи векторного керування асинхронним двигуном. Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2014. №. 1. С. 215–223.

22. Гнатов А. В., Аргун Щ. В. Енергозберігаючі технології на транспорті : конспект лекцій: М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб. дор.ун-т. Харків, 2021. 142с.

23. Рогозін І. В., Новічонок С. М., Гнатов А. В., Рогозіна А. І. Спосіб розрахунку основних параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих

автотранспортних засобів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. Харків: ХНАДУ, 2018. № 13. С. 5–12.

24. Розробка комбінованої енергетичної установки на базі пневмодвигуна з використанням поновлювальних джерел енергії для міського автотранспорту. Заключний: науково-дослідна робота. Гнатов А. В., Аргун та ін. Харків : ХНАДУ, 12.2022. № держреєстрації 0121U109611. 321 с.

25. Воронков О. І. Методологія організації робочого процесу пневмо-двигуна комбінованої енергетичної установки міського автомобіля: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.05.03. Двигуни та енергетичні установки”. Воронков Олександр Іванович; Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2017. 42 с.

26. Дербаремдикер А.Д. Амортизатори транспортних машин. К.: Машинобудування, 1985. 231с.

27. Раймпель Й. Шасі автомобіля: амортизатори, шини і колеса. – К.: Машинобудування, 1986. 320с.

28. Manga Humanjali Design and Analysis of Shock Absorber . International Journal of Innovative Science and Research Technology, Volume 3, Issue 8, August – 2018.

29. Ryabov I.V. Efficiency of Shock Absorber in Vehicle Suspension. Procedia Engineering 150 (2016). 354 – 362.

30. W H Tan. Vibration analysis on compact car shock absorber. IOP Conf. Series: Journal of Physics: 2017.Conf. Series 908.

31. Ran Zhang. A novel indirect-drive regenerative shock absorber for energy harvesting and comparison with a conventional direct-drive regenerative shock absorber. Applied Energy. 2018.Volume 229. 111-127.

32. Bogdan Pawłowski. Failure analysis of shock absorber tubes. Engineering Failure Analysis. 2017. Volume 82. Pages 533-539.

33. Савчук В. П. Моделирование движения элементов подвески MACPFHERSON на примери автомобилей семейства ВАЗ 2110 / В. П. Савчук // Вісник НТУ «ХП», 2013, №70(1043), с. 27-34.

34. Пиндус Ю.І. Стенд для оцінки робочих параметрів амортизаторів легкових автомобілів. Матеріали XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. 2017р. 67-68.

35. Квасніков В.П. Визначення жорсткісних параметрів пружинних

амортизаторів. Технологічний аудит і резерви виробництва. 2016. №3/2(29). 8-12.

36. Слабкий А. В. Аналіз вимог до конструкцій підвісок автомобілів підвищеної прохідності. Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. Електрон. текст. дані. 2019. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7781>.

1. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію процесів, що відбуваються в електричних машинах та перетворювачах системи рекуперації, створення алгоритмів управління, що забезпечують як максимальну енергоефективність, так і необхідну плавність ходу, а також вивчення та підвищення надійності та довговічності компонентів рекуперації. Особливу увагу слід приділити роботі накопичувачів та споживачів енергії, оскільки вони працюють під впливом пульсуючих струмів, що генеруються амортизаторами. Дослідно-конструкторські роботи також мають бути спрямовані на підвищення технологічності та зниження вартості компонентів системи.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- АВ – акумуляторна батарея;
- АРЕ – амортизатори із регенеративним ефектом;
- АС – асинхронний електродвигун;
- УЗИ – блок визначення напрямку руху та швидкості; БНН - встановлення підвищення напруги;
- БС – блок визначення швидкості руху штанги; БУЗ – блок керування завантаженням;
- БЕ - блок розрахунку енергоспоживання на рух транспортного засобу; VI – вентильно-індукторна машина;
- ВМ - випрямний міст;
- ВЕМ - електрична машина, що обертається; ДПТ – двигун постійного струму;
- ДЕ – демпфуючий елемент;
- ІМ – імітаційна модель;
- ЛЕМ – лінійна електрична машина; НЕ – накопичувач енергії;
- ПМ – постійні магніти;
- ПП – напівпровідниковий перетворювач енергії;
- ПСУА – перетворювач системи керування амортизаторами;
- ТС – транспортний засіб;
- ЕРС – електрорушійна сила; ШВП - ШВП;
- SC - ємнісний накопичувач (суперконденсатор);
- СПД – синхронний електродвигун із постійними магнітами;
- СРЕДП - Система рекуперації енергії деформацій підвіски; ТЕД – тяговий електродвигун;
- ТЕП – електротяговий привід; УЕ – пружний елемент;
- ФП – перетворювач функцій;
- ШІМ - широтно-імпульсна модуляція;

SOC – це рівень заряду акумулятора.