

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет
УДК 621.548.3/5

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

професор кафедри тракторів, автомобілів та біоенергосистем

Г.А. Голуб

2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

НА ТЕМУ: Дослідження роботи міні трактора МТЗ-132Н при роботі від електроприводу.

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»
Освітня програма: «Машини і обладнання сільського господарства»
Магістерська програма: «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва»

Програма підготовки: освітньо-професійна

Керівник магістерської роботи
д.т.н., професор

Г.А. Голуб

Виконав

А.О. Марігун

КІЇВ - 2022

1

РЕФЕРАТ

НУБІП України

В магістерській роботі розглянуто особливості та принципи роботи електричних батарей, їх види, конструкція, огляд технічних характеристик.

В першому розділі розглянуто історію розвитку тракторів на електричних приводах.

В другому виконано аналіз існуючих електричних батарей.

В третьому розділі проведено аналіз та порівняння існуючих електродвигунів

В четвертому розділі проведено порівняння дизельних та електричних двигунів.

П'ятий розділ - теоритична інформація про проведення та постановку експерименту.

У шостому розділі власне сам приклад розробки платформи для невеликих сільськогосподарського апарату (трактора)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ	
1. Історія розвитку тракторів на електричних тягах	5
2. Існуючі електричні батереї	19
3. Вимірювання та аналіз потужності електродвигунів	23
4. Порівняння тракторів на електричному та дизельному приводі	39
5. Теорія постановки та проведення експерименту	48
6. Розробка тракторної платформи на електроприводі	53
Методика розрахунку показників роботи електротрактора	75
7. Охорона праці	82
8. Список використаної літератури	90

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1. Історія розвитку тракторів на електричних тягах
У 2004 році, в рамках глобальної тенденції останніх років до розвитку низьковуглецевого суспільства, Управління з охорони навколишнього середовища США ввело в дію стандарт викидів "TIER 4" з метою встановити критерії викидів вихлопних газів для позашляхових дизельних двигунів.

Водночас, у квітні 2004 року до зводу правил Європейського Союзу щодо Stage IIIB було додано документ "2004/26/ES". нормативних актів Європейського Союзу щодо вихлопних газів Стадій IIIB і IV вихлопних газів. Як 2004/26/ES, так і TIER 4 встановлюють дуже суворі стандарти на викиди. Водночас Японія представила Закон про регулювання і т.д. викидів від позашляхових спеціальних автотранспортних засобів, а також сприяла впровадженню низьковуглецевих технологій, які можуть мінімізувати або навіть усунути залежність від нафти. У

рамках цих зусиль, зниження впливу на навколишнє середовище сільськогосподарського виробництва. Згідно з японським законодавством, нові норми викидів з 2011 року поетапно вводяться нові норми викидів для позашляхових спеціальних автотранспортних засобів, що використовують дизельні двигуни, включаючи сільськогосподарську машини; таким чином, використання чистої енергії стало обов'язковим для сільськогосподарської галузі. Таким чином, використання чистої енергії стало обов'язковою вимогою сільськогосподарської галузі. Серед різних типів мобільної сільськогосподарської техніки, сільськогосподарський трактор є одним із найбільших споживачів палива (MAFF, 2008; NAME, 2009); У результаті, трактор став очевидною ціллю для дослідження електрифікації.

У попередніх дослідженнях оцінювалися електричні трактори з двигунами постійного струму були оцінені, при цьому обсяг досліджень містив у собі аналіз взаємозв'язку між тяговим зусиллям дисла тяговим зусиллям і споживанням енергії, а також аккумулятором конфігурації-планування (Arham та ін., 2001a,

2001b). У цьому дослідженні пропонується електричний трактор із двигуном змінного струму і оцінюється з точки зору його характеристик крутного моменту, зміни крутного моменту управління, числа обертів двигуна і опору води.

Прототип електричного трактора з моторизованою системою, що складається з двигуна, контролера і батареї, яка замінює двигун внутрішнього згорання, був використаний для виконання реальних робіт у полі за різних умов місцевості та експлуатації. Це дослідження зосереджене на ходових характеристиках трактора під час обробітку ґрунту, а не на тязі дишла. Було зібрано основні дані про споживану потужність та інші фактори, і потужність двигуна, необхідна для практичного використання. Нарешті, було розглянуто практичні аспекти роботи електричної системи продуктивності, такі як досяжний час безперервної роботи і площа при використанні одного зарядженого акумулятора, були оцінені.

Можливо, за останні 120 років електричні трактори не досягли великого комерційного успіху, але безліч компаній і наукових установ намагалися покласти край пануванню дизельного пального, і, схоже, ситуація остаточно зміниться в міру посилення екологічного тиску.

Ймовірно, перша спроба використовувати електрику для живлення польового обладнання була зроблена в 1894 році, коли компанія Zimmermann в Німеччині продемонструвала самохідні електричні плуги.

Було дві версії, одна з 10-сильним двигуном, що обертає дві борозни, і версія з чотирма борознами, що використовує 16-сильний двигун. Плуг потужністю 16 к.с. отримував електроенергію по підвісному кабелю від електромережі, а версія потужністю 10 к.с. була пов'язана з паровим генератором на краю поля.

Електродвигун обох плугів приводив у рух циліндричні шестерні, які тягнули плуг, входячи в зачеплення з ланками ланцюга, простягнутого через поле і закріпленого на обох кінцях. Після перетину поля плуг, ланцюг і анкерні точки необхідно було перемістити на потрібну відстань, щоб підготувати до зворотного

шляху, і ще одним частим завданням було переміщення опор, які несуть кабель електроживлення, над поверхнею ґрунту і поза контактом з корпусами плуга.

Крім зниження навантаження на сільськогосподарських коней, система оранки Циммерманна, схоже, не давала особливих переваг, і навряд чи хоч один плуг був проданий. Однак реклама, можливо, спонукала французького фермера на ім'я Фелікс Прат використовувати електричну енергію для оранки в 1895 році.

Водяний млин на його фермі було переобладнано для вироблення електроенергії для роботи саморобного трактора, і, крім приведення в рух коліс трактора, електродвигун приводив у рух намотаний барабан, який тягнув мотузку, прикріплену до плуга або культиватора, по полю туди і назад, поки трактор залишався на краю поля.

Комерційний успіх

Невеликий комерційний успіх прийшов приблизно в 1900 році, коли електричні трактори Brutschke стали використовуватися для оранки в Німеччині.

Трактори використовували на фермах поблизу заводу з переробки цукрових буряків, де встановили генератор для подачі електроенергії для оброблення та переробки буряків, але протягом більшої частини року були надлишки електроенергії, які можна було подавати повітряними лініями електропередач на ферми, розташовані поблизу заводу.

Н
Н



На початку 1900-х років трактори Brutschke використовували надлишкову електроенергію із заводу з переробки цукрових буряків у Німеччині

НУБІП України

У звіті, опублікованому 1902 року, йшлося про те, що кілька великих фермерських господарств використовували заводську "позапикову" електроенергію для живлення двигуна 220 В на тракторах Brutschke. Як і у французькому прикладі, трактор залишався на краю поля, а намістаний сарабан приводив у дію тросову або канатну систему, що тягнула знаряддя по полю.

НУБІП України

Фермери, які використовують електричні трактори, стверджували, що вартість оранки була дешевшою, ніж при використанні тросової системи з паровим двигуном.

НУБІП України

Внесок Шотландії в історію електричних тракторів розпочався 1925 року, коли майор Ендрю МакДоуолл, землевласник зі Східного Лотіана, побудував експериментальний трактор, який приводив у рух двигун потужністю 12,5 кінських сил.

НУБІП України

Трактор базувався на триколісному шасі, з плугами, прикріпленими спереду і ззаду, які працювали поперемінно під час руху трактора вперед і назад.

НУБІП України

Електроенергія подавалася через кабель, під'єднаний до точки живлення, яку

можна було переставляти в міру оранки, що давало змогу трактору проїхати
близько 400 м у кожному напрямку.

НУБІП України

НУ

НУ



НУБІП України

Перший у Шотландії електричний трактор зображений без переднього і
заднього плужного-навісного обладнання

НУБІП України

За словами майора Макдоуолла, оранка заднього електрики обходилася
вдвічі дешевше, ніж на звичайному тракторі, але на його прохання про виділення
державних коштів для проведення подальших досліджень він отримав ввічливу,
але тверду відмову.

НУБІП України

російський прогрес

У 1930-х і 1940-х роках розробка електричного трактора перемістилася в
Росію, але подробиць про це мало.

НУБІП України

У 1950 році російський урядовий департамент, що забезпечує зарубіжну

рекламу досягнень країни, повідомив, що електричні трактори досягли великого успіху

З 1945 по 1949 рік кількість електричних тракторів на російських фермах збільшилася на 300%, йшлося у звіті, і вони працювали настільки добре, що було схвалено подальше масштабне збільшення.

На фотографіях у звіті показані гусеничні та колісні версії за роботою, обидві з'єднані кабелем з електромережею.



Російські електричні трактори включали в себе цю колісну модель з кабелем живлення, що тягнеться

Російська програма електричних тракторів, можливо, була менш амбітною, ніж передбачала реклама, а нещодавно високопоставлений чиновник сільського господарства Росії заявив, що програму було припинено на початку 1950-х років через технічні проблеми.

Було вироблено лише невелику кількість тракторів, і вони були лише

коротким епізодом в історії російського енергетичного сільського господарства, пояснив він.

Одна з великих проблем, з якою зіткнулися піонери електротракторів, була пов'язана з кабелем живлення, і, можливо, це стало однією з причин провалу російської програми.

Існує очевидний ризик зносу і розриву кабелю, якщо він волочиться поверхнею ґрунту, і він може заплутатися в колесах трактора або знарядді під час розвороту.



Вважається, що електричні трактори, подібні до цих гусеничних тракторів, були одним із головних успіхів у 1940-х і на початку 1950-х років.

Британські зусилля

Британська спроба подолати деякі з цих проблем була продемонстрована в 1949 році, коли Асоціація електричних досліджень, розташована недалеко від Редінга, Беркшир, продемонструвала гусеничний трактор Ransomes MG, який був

модифікований шляхом установки 9-сильного електродвигуна замість звичайного бензинового двигуна.

Електрику подавали кабелем, що з'єднує трактор із точкою живлення на вершині 35-футового пілона в центрі поля.

Роз'єм міг повертатися на 360 градусів, даючи змогу трактору працювати по колу, яке дедалі меншало, а в міру наближення до пілона противаги брали на себе слабину, підтримуючи кабель у натягнутому стані.

Трос, використаний для демонстрації, давав змогу трактору працювати по колу з максимальним радіусом 110 футів, який, імовірно, можна збільшити, використовуючи довший трос, але обертова схема роботи може стати проблемою на фермах, які не мають круглих полів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



Цей гусеничний трактор Ransomes MG з електричним перетворенням потужності був розроблений для роботи по колу навколо центральної точки живлення.

НУБІП України

Трактори без кабелю

Автономний трактор, що виробляє або переносить власну електроенергію, дає би змогу уникнути необхідності в живильному кабелі, і саме такий підхід використовували американські дослідницькі групи.

Інженери сільськогосподарства з Університету штату Південна Дакота розпочали роботу над проектом трактора Choremaster 1983 року, використовуючи

НУБІП України

два блоки 32-елементних батарей для виробництва електроенергії потужністю 43,5 кВт/год, що живить два двигуни.

Один двигун керував гідравлічними системами, включно з гідропідсилювачем рульового управління, а інший приводив у дію тридіапазонну гідростатичну трансмісію з повним приводом.

У зв'язку з обмеженими можливостями акумуляторів у 1980-х роках, "Хоремастер" був розроблений здебільшого як дворобочий трактор, що працював у межах легкої досяжності від точки живлення для зарядки акумуляторів.

Дві батареї важили близько 2 т, і для їхньої повної зарядки було потрібно вісім годин, щоб забезпечити близько шести годин роботи.

Choremaster використовували протягом кількох років на університетській фермі, і інженери також розробили акумуляторний навантажувач із бортовим поворотом.

Паливні елементи

Першим транспортним засобом, що працює на електриці від паливних елементів, був експериментальний трактор, розроблений компанією Allis-Chalmers у 1950-х роках.

Паливні елементи вперше розробив британський учений у 1830-х роках, але їх не використовували в комерційних цілях понад 100 років.

Паливний елемент працює як батарея, використовуючи хімічну реакцію для виробництва електроенергії, але, на відміну від батареї факела, елемент не містить власних хімічних речовин або "палива" і не має ємності для зберігання.



Allis-Chalmers продемонстрував цей експериментальний трактор на паливних елементах 1959 року

Паливні елементи виробляють електроенергію, поки підтримується подача хімікатів, але зупиняються, коли подача припиняється. Вони можуть працювати з широким спектром палива, включно з рідинами і газами, і Allis-Chalmers обрала суміш газів, включно з метаном і пропаном. Дослідження в цій галузі були логічним розвитком для Allis-Chalmers

Крім виробництва тракторів і сільськогосподарської техніки, компанія також була великим виробником електрообладнання, включно з електродвигунами, і успіх проєкту трактора на паливних елементах міг принести користь обом сторонам компанії

Програма розпочалася 1958 року із заміни паливних елементів і електродвигуна на 31-сильний двигун одного із серійних тракторів

За нею в 1959 році послідував спеціально розроблений трактор з 1008

паливними елементами, що заповнюють простір, який зазвичай займає двигун, і забезпечують електроенергією 20-сильний мотор.

Компанія Allis-Chalmers продовжувала дослідження тракторів на паливних елементах протягом декількох років, але ринок не був готовий до такої технології.

Переваги включали низький рівень вібрації та шуму задовго до того, як комфорт водія став важливою характеристикою під час продажу.

Паливні елементи також пропонують екологічні переваги, як-от чистіші вихлопні гази та використання поновлюваних видів палива, але зв'язок між дизайном транспортного засобу та захистом навколишнього середовища не став серйозною проблемою.

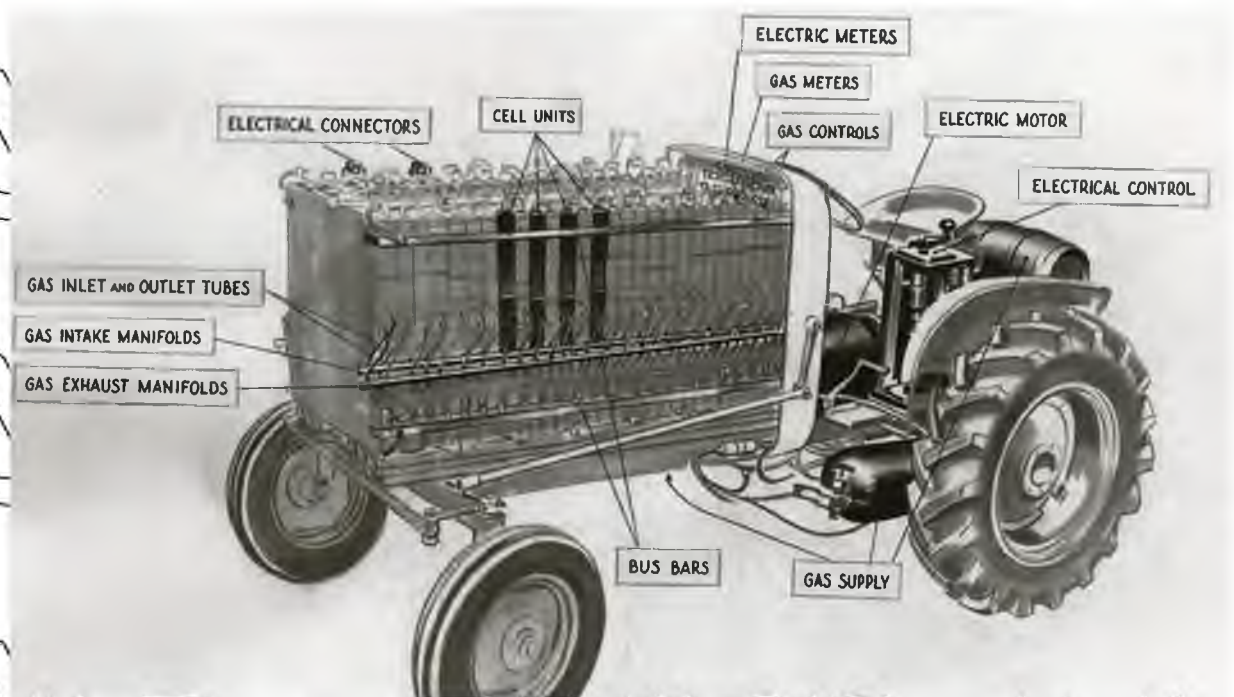


Схема трактора Allis-Chalmers на паливних елементах

Сучасний розвиток

У комерційному плані проєкт трактора на паливних елементах Allis-Chalmers виявився невдалим, але останнім часом електрика стає кращим варіантом більш

екологічної альтернативи бензиновим і дизельним двигунам для приведення в рух транспортних засобів.

Паливні елементи фігурують серед останніх проєктів: у 2009 році компанія New Holland продемонструвала експериментальний трактор NH2, що працює на паливних елементах, які виробляють електроенергію внаслідок реакції між воднем і киснем.

Потужність становила 106 к.с., а єдиним побічним продуктом була чиста вода, без будь-яких забруднюючих речовин.

Потенційна привабливість використання електричних тракторів полягає в тому, що на багатьох фермах вони можуть працювати від домашньої електромережі, що виробляється такими методами, як біопереробка або вітрогенерація, пропонуючи фінансову економію, яка допоможе компенсувати ймовірні додаткові капітальні витрати на електричний трактор.

Дрібномасштабне комерційне виробництво тракторів, що використовують акумуляторні батареї, нещодавно розпочали Fendt і компанія Escorts в Індії, а інші фірми наразі беруть участь у низці дослідницьких проєктів.

Серед них футуристичний експериментальний трактор без водія GridCON компанії John Deere, що розвиває потужність до 400 к.с. завдяки використанню електроенергії, що подається кабелем.



Ідеї майбутнього експериментального електричного трактора GridCON компанії John Deere включають управління без водія і потужність до 400 к.с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

2. Існуючі електричні батареї

Системи зберігання енергії, зазвичай акумулятори, необхідні для повністю електричних автомобілів, гібридних електромобілів (PHEV) і гібридних електромобілів (HEV), що підключаються.

Типи систем зберігання енергії

У повністю електричних автомобілях, PHEV і HEV використовуються такі системи зберігання енергії.

Літій-іонні акумулятори

Літій-іонні акумулятори в даний час використовуються в більшості портативної побутової електроніки, такої як стільникові телефони та ноутбуки, через їхню високу енергію на одиницю маси в порівнянні з іншими системами зберігання електричної енергії. Вони також мають високе відношення потужності до ваги, високу енергоефективність, хороші високотемпературні характеристики і низький саморозряд. Більшість компонентів літій-іонних батарей можуть бути перероблені, але вартість відновлення матеріалів залишається проблемою для галузі. Міністерство енергетики США також підтримує Премію за переробку літій-іонних батарей, щоб розробити і продемонструвати вигідні рішення для збору, сортування, зберігання і транспортування відпрацьованих і викинутих літій-іонних батарей для подальшої переробки і відновлення матеріалів. У більшості сучасних повністю електричних автомобілів і PHEV використовуються літій-іонні батареї, хоча їхній хімічний склад часто відрізняється від складу батарей побутової електроніки. Тривають дослідження і розробки, спрямовані на зниження їхньої відносно високої вартості, подовження терміну служби та розв'язання проблем безпеки, пов'язаних із перегрівом.

НУБІП України

Нікель-метал-гідридні батареї

Нікель-метал-гідридні батареї, широко використовувані в комп'ютерному та медичному обладнанні, мають прийнятні показники питомої енергії та питомої потужності. Нікель-металгідридні батареї мають набагато триваліший термін служби, ніж свинцево-кислотні батареї, вони безпечні та стійкі до зловживань. Ці батареї широко використовуються в автомобілях HEV. Основними проблемами нікель-металгідридних батарей є їхня висока вартість, високий саморозряд і виділення тепла за високих температур, а також необхідність контролювати втрату водню.

НУБІП України

Свинцево-кислотні батареї

Свинцево-кислотні батареї можуть бути розраховані на високу потужність і є недорогими, безпечними та надійними. Однак низька питома енергія, погані характеристики за низьких температур, короткий календарний і життєвий цикл перешкоджають їх використанню. В даний час розробляються вдосконалені свинцево-кислотні батареї великої потужності, але вони використовуються тільки в серійних автомобілях з електроприводом для допоміжних навантажень.

НУБІП України

Ультраконденсатори

Ультраконденсатори зберігають енергію в поляризованій рідині між електродом і електролітом. Ємність зберігання енергії збільшується в міру збільшення площі поверхні рідини. Ультраконденсатори можуть забезпечити транспортному засобу додаткову потужність під час розгону і підіому на пагорб і допомогти рекуперувати енергію гальмування. Вони також можуть бути корисні

НУБІП України

як вторинні накопичувачі енергії в автомобілях з електроприводом, оскільки допомагають електрохімічним батареям вирівнювати потужність навантаження.

Переробка акумуляторів

Автомобілі з електроприводом з'явилися на автомобільному ринку США

відносно недавно, тому лише невелика їх кількість підійшла до кінця терміну служби. У міру того, як автомобілі з електроприводом ставатимуть дедалі поширенішими, ринок переробки акумуляторів може розширитися.

Широкомасштабне перероблення батарей дасть змогу уникнути потрапляння небезпечних матеріалів у потік відходів як після закінчення терміну служби батареї, так і в процесі її виробництва. Відновлення матеріалів під час переробки також поверне критично важливі матеріали назад у ланцюжок поставок і збільшить внутрішні джерела таких матеріалів. Наразі триває робота з

розроблення процесів переробки батарей, які мінімізують вплив життєвого циклу під час використання літій-іонних та інших видів батарей в автомобілях. Однак не всі процеси переробки однакові і вимагають різних методів поділу для вилучення матеріалу:

Плавка: У процесі плавки відновлюються основні елементи або солі. Ці процеси вже працюють у великих масштабах і можуть приймати різні види батарей, включно з літій-іонними та нікель-металгідридними. Плавка відбувається за високих температур, коли органічні матеріали, включно з електролітом і вуглецевими анодами, спалюють як паливо або відновник. Цінні метали витягують і відправляють на рафінування, щоб продукт був придатний для будь-якого використання. Інші матеріали, включно з дітисем, містяться в шлаку, який сьогодні використовується як добавка до бетону.

Пряме відновлення: З іншого боку, деякі процеси переробки безпосередньо відновлюють матеріали, придатні для батарей. Компоненти розділяються за допомогою різних фізичних і хімічних процесів, і всі активні матеріали та метали

можуть бути вилучені. Пряме відновлення - це низькотемпературний процес з мінімальними енерговитратами.

НУБІП України

Проміжні процеси: Третій тип процесу знаходиться між двома крайнощами. Такі процеси можуть приймати кілька видів батарей, на відміну від прямого відновлення, але відновлюють матеріали далі за виробничим ланцюжком, ніж це робить плавка.

НУБІП України

Поділ різних видів матеріалів батарей часто є каменем спотикання при вилученні матеріалів високої цінності. Тому розробка батарей з урахуванням розбирання і перероблення важлива для успіху електромобілів з точки зору

НУБІП України

сталого розвитку. Стандартизація батарей, матеріалів і конструкції елементів також полегшить переробку і зробить її більш рентабельною.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

3. Вимірювання та аналіз потужності електродвигунів

Основні вимірювання електричної потужності

Електродвигуни - це електромеханічні машини, що перетворюють електричну енергію на механічну. Незважаючи на відмінності в розмірах і типах, усі електродвигуни працюють однаково: електричний струм, що протікає по дросній котушці в магнітному полі, створює силу, яка обертає котушку, створюючи крутний момент.

Розуміння генерації потужності, втрат потужності та різних типів вимірюваної потужності може бути лякаючим, тому давайте почнемо з огляду основних вимірювань електричної та механічної потужності.

Що таке потужність? У найзагальнішому вигляді потужність - це робота, що виконується за певний проміжок часу. У двигуні потужність передається на навантаження шляхом перетворення електричної енергії відповідно до таких законів науки.

В електричних системах напруга - це сила, необхідна для переміщення електронів. Струм - це швидкість потоку заряду за секунду через матеріал, до якого прикладено певну напругу. Взятши напругу і помноживши її на відповідний струм, можна визначити потужність.

$P = V * I$, де потужність (P) виражається у ватах, напруга (V) - у вольтах, а струм (I) - в амперах.

Ват (Вт) - це одиниця потужності, яка визначається як один Джоуль на секунду. Для джерела постійного струму розрахунок проводиться просто як напруга, помножена на струм: $W = V \times A$. Однак при визначенні потужності у ватах для джерела змінного струму необхідно враховувати коефіцієнт потужності (КМ), тому для систем змінного струму $W = V \times A \times КМ$.

Коефіцієнт потужності - це коефіцієнт без одиниці в діапазоні від -1 до 1, який являє собою кількість реальної потужності, що виконує роботу на навантаженні. За коефіцієнта потужності, меншого за одиницю, що майже завжди має місце, матимуть місце втрати реальної потужності. Це відбувається тому, що напруга і струм у ланцюзі змінного струму мають синусоїдальну природу, при цьому амплітуда струму і напруги в ланцюзі змінного струму постійно змінюється і, як правило, не перебуває в ідеальній відповідності.

Оскільки потужність дорівнює напрузі, помноженій на струм ($P = V \cdot I$), потужність максимальна, коли напруга і струм вишикувалися разом так, що піки і нульові точки на формах напруги і струму виникають в один і той самий час. Це типово для простого резистивного навантаження. У цій ситуації дві форми хвиль перебувають у фазі одна з одною, і коефіцієнт потужності дорівнюватиме 1. Це рідкісний випадок, оскільки майже всі навантаження не є просто ідеально резистивними.

Про два сигнали кажуть, що вони "не у фазі" або "зсунуті по фазі", коли два сигнали не корелюють між собою від точки до точки. Це може бути спричинено індуктивними або нелінійними навантаженнями. У такій ситуації коефіцієнт потужності буде меншим за 1, і буде реалізовано менше реальної потужності.

Через можливі коливання струму і напруги в ланцюгах змінного струму потужність вимірюється кількома різними способами.

Реальна або справжня потужність - це фактична потужність, яка використовується в ланцюзі, і вимірюється у ватах. Цифрові аналізатори потужності використовують методи оцифрування вхідних осцилограм напруги і струму для розрахунку істинної потужності.

У цьому прикладі миттєва напруга множиться на миттєвий струм (I), потім інтегрується за певний період часу (t). Розрахунок істинної потужності працюватиме для будь-якого типу форми хвилі, незалежно від коефіцієнта потужності.

Гармоніки створюють додаткові складнощі. Незважаючи на те, що електромережа номінально працює на частоті 60 Гц, існує безліч інших частот або гармонік, які потенційно можуть існувати в ланцюзі, а також може бути присутнім компонент постійного або постійного струму. Повна потужність розраховується шляхом врахування та підсумовування всіх складових, включно з гармоніками.

Методи розрахунку використовуються для забезпечення вимірювання істинної потужності та істинного середньоквадратичного значення для будь-якого типу форми сигналу, включно з усіма гармоніками, аж до смуги пропускання приладу.

Вимірювання потужності

Далі ми розглянемо, як реально виміряти вати в цьому ланцюзі. Ватметр - це прилад, який використовує напругу і струм для визначення потужності у ватах.

Теорія Блонделя свідчить, що повна потужність вимірюється щонайменше на один ватметр меншою, ніж кількість проводів. Наприклад, в однофазному двопровідному ланцюзі використовується один ватметр з одним виміром напруги і одного виміру струму.

Однофазна трипровідна система з роздільною фазою часто зустрічається в загальній квартирній проводці. У таких системах для вимірювання потужності потрібно два ватметри.

У більшості промислових двигунів використовуються трифазні трипровідні ланцюги, які вимірюються двома ватметрами. Таким же чином, три ватметри потрібні для трифазного чотирипровідного ланцюга, де четвертий дріт є нейтральним.

Вимірюються дві напруги від лінії до лінії і два відповідних фазних струми (за допомогою ватметрів W_a і W_c). Чотири вимірювання (лінійний струм і фазний струм та напруга) використовуються для отримання сумарного вимірювання.

Оскільки цей метод вимагає моніторингу тільки двох струмів і двох напруг замість трьох, спрощується установка і конфігурація проводки. Він також може точно вимірювати потужність у збалансованій або незбалансованій системі. Гнучкість і дешевизна установки роблять його придатним для виробничих випробувань, в яких потрібен вимір тільки потужності або декількох інших параметрів.

Для інженерних і науково-дослідних робіт найкраще підходить метод трифазного трипровідного з трьома ватметрами, оскільки він дає додаткову інформацію, яку можна використовувати для балансування навантаження і визначення істинного коефіцієнта потужності. У цьому методі використовуються всі три напруги і всі три струми. Вимірюються всі три напруги ($a - b$, $b - c$, $c - a$), і контролюються всі три струми.

Вимірювання коефіцієнта потужності

При визначенні коефіцієнта потужності для синусоїдальних хвиль коефіцієнт потужності дорівнює косинусу кута між напругою і струмом ($\cos \phi$). Це визначається як коефіцієнт потужності "зміщення" і вірно тільки для синусоїдальних хвиль. Для всіх інших форм хвиль (несинусоїдальних) коефіцієнт потужності визначається як реальна потужність у ватах, поділена на уявну потужність у вольт-амперах. Це називається "істинним" коефіцієнтом потужності і може використовуватися для всіх форм хвиль, як синусоїдальних, так і несинусоїдальних.

Однак, якщо навантаження незбалансоване (фазні струми різні), це може внести помилку в розрахунок коефіцієнта потужності, оскільки під час розрахунку використовуються тільки два вимірювання ВА. Два ВА усереднюються, оскільки передбачається, що вони рівні; однак, якщо це не так, буде отримано невірний результат.

Тому найкраще використовувати метод трьох ватметрів для незбалансованих навантажень, оскільки він забезпечить правильний розрахунок коефіцієнта потужності як для збалансованих, так і для незбалансованих навантажень.

Аналізатори потужності від Yokogawa і деяких інших компаній

використовують вищевказаний метод, який називається методом підключення 3V-3A (три напруги-три струми). Це найкращий метод для інженерних і проектних робіт, оскільки він забезпечує правильне вимірювання загального коефіцієнта потужності та ВА для збалансованої або незбалансованої трифазної системи.

Основні вимірювання механічної потужності

В електродвигуні механічна потужність визначається як швидкість, помножена на крутний момент. Механічна потужність зазвичай визначається в кіловатах (кВт) або кінських силах (к.с.), водночас один ват дорівнює одному джоулю на секунду або одному Ньютон-метру на секунду.

Кінська сила - це робота, виконувана за одиницю часу. Одна кінська сила дорівнює 33 000 футо-футів на хвилину. Перерахунок кінських сил у вати здійснюється за допомогою такої залежності: $1 \text{ к.с.} = 745,69987 \text{ Вт}$. Однак часто для спрощення перетворення використовують 746 Вт на к.с.

Для асинхронних двигунів змінного струму фактична, або роторна, швидкість - це швидкість обертання вала (ротора), зазвичай вимірювана за допомогою тахометра. Синхронна швидкість - це швидкість обертання магнітного поля статора, що розраховується як 120-кратне значення частоти мережі, поділене на кількість полюсів у двигуні. Синхронна швидкість - це теоретично максимальна швидкість двигуна, але через втрати ротор завжди буде обертатися трохи повільніше за синхронну швидкість, і ця різниця швидкостей визначається як ковзання.

Ковзання - це різниця між швидкістю обертання ротора і синхронною швидкістю. Для визначення відсотка ковзання використовується простий процентний розрахунок синхронної швидкості мінус швидкість ротора, поділена на синхронну швидкість.

ККД може бути виражений у найпростішій формі як відношення вихідної потужності до повної вхідної потужності або $\text{ККД} = \text{вихідна потужність} / \text{вхідна потужність}$. Для двигуна з електричним приводом вихідна потужність є механічною, а вхідна - електричною, тому рівняння ККД стає рівнянням $\text{ККД} = \text{механічна потужність} / \text{електрична вхідна потужність}$.

Датчики струму

Датчики струму зазвичай потрібні для проведення випробувань, оскільки великий струм не може бути підведений безпосередньо до вимірювального обладнання. Існує цілий ряд датчиків, придатних для конкретних застосувань. Затискні датчики можуть використовуватися з аналізаторами потужності. Також можна використовувати вимірювальні щупи, але під час їхнього використання необхідно дотримуватися обережності, щоб переконатися, що прилад не піддається впливу високих струмів.

Для ТТ живильний дріт може бути під'єднаний через вікно (ТТ зазвичай мають форму пампушки або довгасту форму з отвором або внутрішньою частиною, яка називається вікном), або слабкострумові з'єднання можуть бути виконані до клем на верхній частині приладу. Щупи зазвичай використовуються для постійного струму, але не для змінного або спотворених частот, хоча їх можна використовувати для синхронних двигунів із частотою до кількох сотень Гц.

Існують спеціалізовані трансформатори струму, які добре працюють із високими

частотами, що найчастіше трапляються в освітлювальних приладах, на відміну від двигунів і приводів.

Компанія Yokogawa спільно з LEM Instruments розробила унікальну систему трансформаторів струму, що забезпечує високу точність у діапазоні від постійного струму до кГц. Це трансформатор активного типу, який використовує блок кондиціонування джерела живлення і забезпечує точність приблизно 0,05-0,02% від показань. Цей тип трансформаторів струму забезпечує дуже високу точність вимірювань, особливо для ЧРП, які можуть працювати в діапазоні від 0 Гц до робочої швидкості під'єданого двигуна.

Трансформатори напруги просто перетворюють напругу з одного рівня на інший. У вимірювальних додатках іноді потрібні понижувальні трансформатори для зниження напруги, що подається на вимірювальний прилад, хоча багато приладів можуть працювати з відносно високою напругою і не вимагають понижувального трансформатора.

Приладові трансформатори зазвичай являють собою комбінацію трансформатора струму і трансформатора напруги і можуть зменшити кількість необхідних перетворювачів у деяких вимірювальних додатках.

Сумісність із приладами

Щоб визначити сумісність із приладами, необхідно визначити вихідний рівень ТТ. Затискні та інші ТТ зазвичай мають вихідний сигнал, зазначений у мілівольтах/ампер, міліамперах/ампер або амперах. Типовий вихід приладового ТТ може бути вказаний у діапазоні від 0 до 5 ампер.

Необхідно враховувати опір і навантаження на ТТ - фактори, які залежать від того, скільки проводів використовується для підключення ТТ до приладу. Цей провід є опором або навантаженням на прилад і, таким чином, може впливати на вимірювання.

При неправильному використанні вимірювальні щупи можуть створювати свій власний набір проблем. Багато вимірювальних щупів призначені для роботи з вхідним опором осцилографа, але діапазони вхідних опорів аналізатора потужності можуть бути іншими, і це необхідно враховувати.

Ще один момент, який необхідно враховувати під час визначення сумісності приладів, це фізичні вимоги до приладу. Розмір має бути врахований поряд з типом трансформатора струму, наприклад, затискний або пончиківий, кожен з яких буде краще працювати в конкретному приладі.

Приклад системи трифазного двигуна

Зараз ми розглянемо типове вимірювання потужності трифазного трипровідного двигуна методом двох ватметрів. Теорема Блонделя свідчить, що кількість необхідних вимірювальних елементів на один менша, ніж кількість струмоведучих провідників. Це дає змогу вимірювати потужність у трифазній трипровідній системі за допомогою двох перетворювачів за відсутності нейтралі. Однак за наявності нейтралі використовуються три перетворювачі, оскільки тепер є чотири провідники.

Трифазне живлення використовується в основному в комерційних і промислових умовах, особливо для живлення двигунів і приводів, оскільки робота великого обладнання з трифазним живленням більш економічна. Для розрахунку трифазної потужності напруга кожної фази множиться на струм кожної фази, який потім множиться на коефіцієнт потужності, і це значення множиться на квадратний корінь із трьох (квадратний корінь із 3 дорівнює 1,732).

Для вимірювання трифазної потужності, споживаної навантаженим двигуном, підключається аналізатор потужності. На малюнку 1 показано типове підключення, при цьому на дисплеї відображаються всі три напруги, всі три струми, повна потужність і коефіцієнт потужності.

Зазначено всі три струми і напруги, а також сумарну потужність VA і VAR.

Ця конфігурація може відображати показання потужності окремих фаз, але їх не слід використовувати безпосередньо, оскільки для цього методу вимірювання тільки повна потужність є точним показанням.

У принципі, під час використання методу двох ватметрів у трипровідній трифазній системі, потужність окремих фаз не можна виміряти безпосередньо, так само як і будь-який із фазних параметрів, включно з коефіцієнтами потужності фаз. Однак сумарні параметри фаз можуть бути виміряні.

Для трифазного трипровідного двигуна, під'єданого трикутником, можна виміряти напругу між лініями і струми окремих фаз. Оскільки нейтраль відсутня, вимірювання фазних напруг неможливе. Ця ситуація призводить до деяких показань, які мають бути пояснені.

У збалансованій системі між лінійними напругами, які бачить прилад, відстань 60° . Струми – це фазні струми, які прилади бачать на відстані 120° один від одного. Інше представлення цієї системи зображено на фазо-векторній діаграмі, що показана на малюнку 4. Трикутник у верхній частині цього малюнка показує вимірювання напруги між лініями чорним кольором, значення фазних напруг - червоним (але вони теоретичні, бо немає нейтралі), а фазні струми - синім.

У нижній частині малюнка показано різниці фаз між напругами і струмами. Ще раз зверніть увагу, що між лінійними напругами відстань 60° , а між фазними струмами - 120° . Ще одна деталь: якби верхня діаграма являла собою суто резистивне навантаження, то сині струми були б синхронізовані з червоними напругами. Однак при індуктивному навантаженні (наприклад, двигуні) вектори синіх струмів переобувають поза фазою з напругами.

Крім того, за цього методу вимірювання на нижній діаграмі вектори струмів завжди матимуть додатковий зсув на 30° відносно напруг. Суть у тому, що правильно налаштований аналізатор потужності враховуватиме всі ці умови.

Що якщо в трифазній трипровідній системі необхідно точно виміряти фазну потужність і фазний коефіцієнт потужності, а не просто наближене? На малюнку 5 показано методика, що дає змогу вимірювати параметри фаз трифазного трипровідного двигуна шляхом створення плаваючої нейтралі.

Однак у цієї методики є обмеження. Вона буде добре працювати на вході асинхронного двигуна, синхронного двигуна або аналогічного двигуна без регульованого приводу. Під час використання цього методу в системі приводу з регульованою швидкістю необхідно дотримуватися обережності, оскільки високочастотні викривлені форми сигналу і гармоніки можуть призвести до неузгоджених вимірювань.

Крім того, метод плаваючої нейтралі працює тільки для обладнання із синусоїдальною формою хвилі. У разі використання приводу з широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ) можна увімкнути мережевий фільтр 500 Гц (фільтр низьких частот), що дасть змогу відображати показання для основної частоти, але не для загальної.

Трипровідні та чотирипровідні вимірювання потужності

Важливо розуміти, що показання потужності будуть однаковими незалежно від того, вимірюється вона трифазним трипровідним або трифазним чотирипровідним методом. Однак при трифазному чотирипровідному підключенні вимірювані значення напруги є фазними напругами від лінії до нейтралі.

Альтернативне рішення використовує функцію вимірювання трикутника, яка є в аналізаторах потужності Yokogawa. Функція вимірювання трикутника використовує миттєві вимірювання лінійної напруги та фазного струму для отримання істинної напруги від лінії до нейтралі, навіть якщо фази не збалансовані. Це можливо завдяки векторному розрахунку амплітуди всередині процесора. Ця функція також забезпечує вимірювання фазної потужності в

трипровідному ланцюзі. Рішення для вимірювання трикутника також забезпечує вимірювання струму нейтралі.

Вимірювання електричної потужності для трифазного двигуна змінного струму

Повне тестування системи приводу і двигуна на основі ШІМ (широкоімпульсної модуляції) складається з трьох етапів. Крок 1 - точне вимірювання вхідної та вихідної потужності приводу з регульованою швидкістю ШІМ, щоб визначити ефективність приводу і втрати потужності. Крок 2 - точне вимірювання вхідної потужності двигуна і крок 3 - точне вимірювання механічної потужності двигуна.

Оптимальним методом є інтеграція всіх трьох етапів за допомогою одного аналізатора потужності для усунення тимчасового перекосу. Це також забезпечує чудові розрахунки ефективності, і все це в єдиному програмно-апаратному рішенні.

Деякі аналізатори потужності мають опцію двигуна, в якій сигнали швидкості та крутного моменту можуть бути інтегровані таким чином. Ці аналізатори потужності можуть вимірювати електричну та механічну потужність і відправляти дані на ПК із програмним забезпеченням від виробника аналізатора або замовленим програмним забезпеченням від системного інтегратора.

Вимірювання ШІМ-приводу для двигунів змінного струму

Під час використання ЧРП з ШІМ для керування двигуном часто виникає необхідність вимірювання вхідної та вихідної потужності ЧРП за допомогою шестифазного аналізатора потужності. Ця установка може вимірювати не тільки трифазну потужність, а й потужність постійного струму або однофазну потужність. Див. рисунок 1.

Залежно від аналізатора, режим налаштування буде виконуватися в нормальному або середньоквадратичному режимі. Конфігурацію проводів має бути налаштовано відповідно до застосування, наприклад, трифазний вхід і трифазний вихід.

Будь-який мережевий фільтр або фільтр низьких частот має бути вимкнений, оскільки фільтрація буде затемнювати результати вимірювань. Однак фільтр нульового кросу або частотний фільтр слід увімкнути, оскільки він відфільтрує високочастотний шум, що дасть змогу виміряти основну частоту. Цей вимір необхідний під час відстеження частоти приводу.

Високочастотна комутація сигналу напруги створює сильно спотворену форму хвилі і з високим вмістом гармонік. Частота варіюється від 0 Гц до робочої швидкості.

Для вимірювання такого шумного сигналу необхідні спеціальні датчики струму. Гоїні вимірювання потужності ШІМ також вимагають широкосмугових аналізаторів потужності, здатних вимірювати ці складні сигнали.

Присутні частоти биття, а вміст гармонік напруги перевищує 500 порядків (приблизно 30 кГц). Більша частина гармонік знаходиться на низьких частотах з боку струму.

Проблеми вимірювання напруги в ШІМ-приводах двигунів

Напругу інвертора зазвичай вимірюють одним із двох способів. Можна використовувати вимірювання істинного середньоквадратичного значення, яке включає повний вміст гармонік. Однак, оскільки основна форма хвилі здебільшого визначає крутний момент двигуна, можна виконати й використовувати більш просте вимірювання. У більшості випадків потрібен вимір тільки основної форми хвилі.

Існує два основні методи вимірювання основної амплітуди хвилі напруги. Перший і найпростіший полягає у використанні фільтра низьких частот для

видалення високих частот. Якщо аналізатор потужності має такий фільтр, просто увімкніть його. Правильна фільтрація дає середньоквадратичне значення напруги основної частоти перетворювача. Однак цей тип фільтрації не дає істинного вимірювання повної потужності, тому фільтрація - не найточніший метод.

Другий метод - це метод вимірювання випрямленого середнього значення, який дає середньоквадратичну напругу основної хвилі без фільтрації, використовуючи визначення середнього значення напруги, масштабованого до середньоквадратичної напруги. Алгоритм випрямленого середнього значення середнього значення циклу забезпечить еквівалент основної напруги, який буде дуже близький до середньоквадратичного значення основної хвилі.

Використовуючи цей метод, можна виміряти повну потужність, повний струм і основну напругу.

Вимірювання амплітуди основної хвилі за допомогою гармонійного аналізу

Функція гармонійного аналізу може бути використана для визначення істинної основної напруги за допомогою швидкого перетворення Фур'є (БПФ) для визначення амплітуди кожної гармонійної складової, включно з основною хвилею. Це дає точне середньоквадратичне вимірювання напруги основної хвилі.

Новітні аналізатори потужності можуть виконувати одночасні вимірювання істинної середньоквадратичної напруги поряд із вимірюваннями гармонік.

U_{rms2} (середньоквадратичне значення на виході ШІМ) - дуже високе число, а $F2$ (середнє значення основної хвилі) - дещо нижче. Значення U_{rms3} (фільтрація фундаментального сигналу) дає аналогічний результат. Нарешті, $U2(1)$ виходить з аналізу гармонік або обчислень БПФ фундаментального сигналу. $F2$, U_{rms3} і $U2$

(1) дають результати, які дуже близькі, але розрахунок БПФ U2 (1) вважається

найбільш точним.

Струм інвертора зазвичай вимірюється тільки одним способом, а саме як істинний середньоквадратичний сигнал, оскільки всі гармонійні струми роблять свій внесок і відповідають за підвищення температури двигуна, тому всі вони мають бути виміряні.

Ще один важливий вимір включає в себе В/Гц (вольт-пер-герц). ШІМ-привід повинен підтримувати постійне співвідношення В/Гц протягом усієї робочої швидкості двигуна. Аналізатор потужності може розрахувати В/Гц,

використовуючи середньоквадратичне або основне значення напруги. Визначена користувачем математична функція аналізатора використовується для складання рівняння для цього вимірювання.

Вимірювання напруги шини постійного струму

Напруга шини постійного струму в ШІМ може бути виміряна для перевірки умов підвищеної або зниженої напруги. Це вимірювання може бути виконано всередині перетворювача на клеммах блока конденсаторів. Однак простішим методом є використання відображення форми сигналу аналізатора потужності з вимірюванням курсором.

Під час виконання відображення форми сигналу з вимірюванням курсором необхідно переконатися, що курсор не перебуває безпосередньо над маленькими піками на дисплеї. Для точного вимірювання курсор має лежати поперек форми сигналу. На малюнку 5 показано вимірювання напруги ШІМ з високошвидкісним перемиканням. Курсор розташований так, щоб зчитувати значення, наприклад, 302,81 В у цьому вимірі.

Вимірювання механічної потужності

Механічна потужність вимірюється як швидкість двигуна, помножена на крутний момент двигуна. На ринку представлено безліч різних типів датчиків

швидкості та крутного моменту, які працюють з різними двигунами. Хоча

аналізатори Yokogawa можуть працювати з більшістю датчиків швидкості та крутного моменту, все ж доцільно підтвердити сумісність у кожному конкретному випадку. Ці датчики можуть використовуватися для отримання інформації про механічні вимірювання для розрахунку механічної потужності в аналізаторі потужності.

Багато датчиків постачаються в комплекті з інтерфейсною електронікою, яка забезпечує належну обробку сигналу для роботи з аналізаторами потужності або іншим обладнанням. Обумовлений сигнал може бути аналоговим виходом або виходом послідовного зв'язку, який йде на ПК і його прикладне системне програмне забезпечення.

Одним із варіантів реалізації вимірювань механічної потужності є використання як датчика, так і відповідного вимірювального приладу від даного виробника. Такий підхід має свої переваги, оскільки датчики будуть точно підібрані до приладу. Будуть доступні показання крутного моменту, швидкості та потужності, і, ймовірно, будуть доступні варіанти під'єднання до ПК разом із відповідним прикладним програмним забезпеченням.

За такої конфігурації виходи сигналів швидкості та крутного моменту з датчиків підключаються безпосередньо до входів швидкості та крутного моменту аналізатора потужності. Це дає велику перевагу, даючи змогу одночасно оцінювати вимірювання електричної та механічної потужності та безперервно виконувати розрахунки ефективності.

Ефективність двигуна, приводу і системи

ККД інвертора в найпростішій формі розраховується як відношення вихідної потужності до вхідної і подається у відсотках. Один із методів вимірювання вхідної та вихідної потужності полягає в під'єднанні вимірювачів потужності на

вході та виході, а показання цих двох вимірювачів використовують для розрахунку ККД.

Більш комплексний метод полягає у використанні аналізатора потужності з кількома входами для одночасного вимірювання вхідної та вихідної потужності, як показано на малюнку 1. У результаті виходить більш точний розрахунок ККД,

оскільки використовується один аналізатор потужності для усунення потенційних помилок, викликаних тимчасовим перекосом вимірювань.

За допомогою внутрішніх математичних розрахунків, що надаються аналізатором, можна налаштувати дуже простий розрахунок за допомогою меню для обчислення втрат і ККД перетворювача.

Під час вимірювання потужності в електродвигуні необхідно враховувати безліч параметрів, таких як повний і істинний коефіцієнт потужності. Ці вимірювання містять у собі складні рівняння, тому більшість компаній використовують аналізатор потужності для автоматичного отримання результатів.

Після ухвалення рішення про використання аналізатора потужності необхідно ухвалити рішення про діапазон частот і рівень точності. Сумісність приладів - ще один важливий аспект безпечного отримання точних показань, особливо з трансформаторами струму, і це та область, де необхідно враховувати вхідні дані/опції аналізатора. При правильних вхідних сигналах датчиків вимірювання механічної потужності також можуть бути виконані за допомогою аналізатора потужності. Вибір правильних датчиків швидкості та крутного моменту є першим кроком у визначенні механічної потужності.

Деякі аналізатори потужності також дають змогу проводити вимірювання за допомогою ІШМ. Однак налаштування аналізатора для вимірювань ІШМ також вимагає знань про те, як струми та напруги впливатимуть на вимірювання потужності.

Прецизійний високочастотний аналізатор потужності є важливим

інструментом для вимірювання як механічної, так і електричної потужності. Його функції аналізу і показання можуть допомогти поліпшити роботу і навіть продовжити термін служби двигуна. Вибір правильного аналізатора і його правильне застосування потребують знань; однак за правильного використання дані аналізатора потужності даватимуть точні та дуже цінні дані.

4. Порівняння тракторів на електричному та дизельному приводі

Причина, з якої перехід на електричний привід розширюється з кожним днем, полягає в такому:

- Досягнення і швидке зростання технологій поновлюваних джерел енергії також сприяють зростанню ринку електричного транспорту, роблячи його економічним і високоефективним. Вітряні турбіни і сонячні батареї є менш дорогими, чистішими і чинять менше навантаження на мережу порівняно з технологіями, які використовувалися кілька років тому. Ці системи стають розумнішими та ефективнішими з кожним днем. Це стало можливим завдяки аналізу даних і цифровій революції з використанням GPS для зниження витрат і досягнення високої ефективності. Завдяки великій кількості кваліфікованої робочої сили і технологій у виробництві та IT-секторі також є причиною такого зростання.

- Удосконалення технології виробництва батарей дало змогу підвищити їхню ефективність, високу щільність енергії, швидкому перезаряджанню та поліпшенню здоров'я батареї. Покращення технології електродвигунів робить усю систему економічною і покращує продуктивність.

- Енергетична безпека вища в електриці порівняно з дизельним паливом і

бензином, система вимагає великих витрат на робочу силу і ланцюжок поставок, а також схильна до частих коливань вартості. На вартість також впливають погодні умови, геополітичні чинники та інші різні витрати. Ця концепція розробляється

для комерційних автомобілів, що дасть змогу знизити викиди вуглекислого газу, що призведе до зниження забруднення навколишнього середовища. Помічено, що

комерційні транспортні засоби (легкі) здебільшого пересуваються в межах міста і мають більший час роботи порівняно з приватними автомобілями. Якщо ви

пересуваєтеся в межах міста і мають більший час роботи порівняно з приватними автомобілями, електрифікація комерційних автомобілів допоможе значно знизити

забруднення навколишнього середовища. Трактор є найбільш використовуваною і важливою частиною сільськогосподарського сектору, використання

електромобілів у сільськогосподарському секторі є незайманою областю,

розширення використання та інновації в цьому секторі допоможуть використанню

та інновації в цьому секторі допоможуть знизити загальну вартість розвитку для фермерів і у такій сільськогосподарській країні, як Індія, де

сільськогосподарський сектор забезпечує 17,7% ВВП і скорочення оборотного капіталу буде вигідним для фермерів і споживачів, оскільки ймовірність оскільки

знижується ймовірність коливань вартості товару [2]. На основі наявних моделей

тракторів, двигунів і батарей, розраховується відповідна ємність акумуляторного блоку і шляхом комбінування різних типів батарей і двигунів.

Базова вартість акумуляторного блоку, а також експлуатаційні витрати

дизельного та електричного трактора порівнюються. Порівнюються, щоб довести,

що використання електричного трактора є більш економічним. Метою даного

дослідження є порівняння трактора з двигуном внутрішнього згоряння з двигуном внутрішнього згоряння трактора з двигуном внутрішнього згоряння та

електричного трактора на основі літій-іонних батарей. Процес проєктування

розпочався з вибору і порівняння тракторів із двигуном ІС, наявних у продажу.

Деякі з найбільш продаваних в Індії комунальних тракторів від відомих виробників, до яких належать Mahindra & Mahindra, Escort, Sonalika, John Deere та ін. Комунальні трактори - це компактні недорогі трактори потужністю від 35 к.с до 70 к.с. Незважаючи на низьку вартість, ці трактори використовуються для малих і середніх ферм, і фермери все частіше використовують їх. Утилітарні трактори здатні виконувати майже всі сучасні сільськогосподарські роботи, такі як плуг, культиватор, молотарка, водяний насос тощо.

Table 1.

Name	Values	Symbol
Vehicle Weight	1860kg	
Lifting capacity	1600kg	
Total Weight (W)	3460kg	W
Height (h)	2.1m	h
Length (L)	3.51m	L
Width (w)	1.95m	w
Frontal Area (A_f) = ($h * L$)	7.37mm ²	A_f
Coefficient of Drag (C_d).....[28]	0.9	C_d
Air Density	1.2 kg/m ³	
Front Tyre	0.08m	
Rear Tyre	0.17m	
Rolling Resistance (field)	0.1	R_r
Rolling Resistance (Tar road)	0.02	R_{rt}
Top Speed	40kmph	

Розрахунок потужності, споживаної трактором, залежить від параметрів опору, опору та

ухил. Опір коченню - це опір, який чинить поверхня дороги транспортному засобу. Опір коченню - це опір, який чинить поверхня дороги транспортному засобу.

опір - це сила опору, що чиниться повітрям на транспортний засіб, а сила нахилу - це опір, який чинить

сила тягіння через нахил поверхні дороги.

Для розрахунку необхідної потужності [Таблиця 2]:

$$Pr = Fr + F_{Cd} + F_{gcr}$$

Pr - необхідна потужність, Fr - сила опору коченню, F_{Cd} - сила опору, F_{gcr} -

сила ухилу.

$$Fr = m * g * v * Rr \dots \text{(опір коченню} = \theta, 1) [12].$$

$$Fr = m * g * v * Rrt \dots \text{(опір коченню} = 0,02)$$

Де m - маса транспортного засобу з навісним обладнанням, g - сила гравітації, v - швидкість руху транспортного засобу, Rr - опір коченню.

v - швидкість руху транспортного засобу, Rr - опір коченню та Rrt - опір коченню для гудронізованої дороги.

$$F_{Cd} = 0,5 * (\text{щільність повітря} * C_d * A_f * v^3)$$

Де C_d - коефіцієнт опору, A_f - лобова площа.

$$F_{gcr} = m * g * \sin \theta$$

Враховуючи нахил 10° (θ).

Де F_{gcr} - сила, що діє на похилу площину, а θ - кут нахилу.

$$RPM = (\text{швидкість} * 60) / (\text{лінійна пройдена відстань})$$

ККД трактора вважається рівним 80% з урахуванням усіх втрат.

$$Pr = Pr * 1,2$$

$$\text{Крутний момент} = (Pr * 60) / (2 * \pi * \text{об/хв})$$

Table 2.

Speed (kmph)	Speed (m/s)	Fr	Fed	Fger	Pr (Watts)	Torque
10	2.78	9418.89	80.99	5764.36	18317.1	1134.19
15	4.17	14128.33	273.33	5764.36	24199.2	998.94
20	5.56	18837.78	647.89	5764.36	30300	938.09
25*	6.94	3767.56	1265.41	5764.36	12956.8	320.91
35*	9.72	5651.33	3472.28	5764.36	17865.6	316.07

Теоретичні розрахунки потужності, наведені вище, потребуватимуть відповідного електродвигуна, а також кількох батарей. Вибір двигуна був заснований на доступності, деякі двигуни, обрані на основі технології

електродвигунів:

асинхронний двигун

двигун PMDC

двигун PMAС

Варіанти двигунів: PMAС ME1302, PMDC ME1909, PMDC ME1002, асинхронний двигун 1LE7 IE2. PMAС ME1302 - це двигун із піковою потужністю 38 кВт і безперервною потужністю 15 кВт, номінальні значення напруги та

струму становлять 120 В і 220 А відповідно. Вага двигуна становить 16 кг. Другий

варіант - використання двох двигунів PMDC ME1909, кожен двигун має пікову

вихідну потужність 20 кВт і безперервною потужністю 11.5 кВт. Двигун має

номінальну напругу 72 В і номінальний струм 200А. Вага двигуна становить 17

кг. PMDC ME1002 - це двигун із найвищою потужністю. Пікова і тривала

потужність цього двигуна становить 63 кВт і 26 кВт відповідно. Двигун потребує

напруги 144 В і сили струму 170 А. Вага цього двигуна становить 87 кг.

Асинхронний двигун 1LE7 IE2 асинхронний двигун 1LE7 IE2 - найважчий двигун вагою 274 кг. Він виробляє пікову потужність 37 кВт і потребує напруги 415В/420В та 64А трифазного струму [Рис. 4].

В одномоторній установці двигун замінює двигун ІС, зберігаючи коробку передач, систему повного приводу (4WD) і відбір потужності. (4WD) і відбору потужності (PTO). У двомоторній установці двигуни встановлюються на кожну вісь, тобто на передньому і задньому мостах. Ця система виключає коробку передач/диференціал 4WD, а двигун розташований на задній осі, також відповідає за роботу коробки відбору потужності. Для EV на основі порівняння між різними типами хімічних технологій батарей і доступності батарей в Індії у місцевих постачальників було обрано три типи батарейних технологій обрано такі:

- LiFePO4 (літій-залізо-фосфат)
- Li4Ti5O12 (титанат літію)

NMC (літєвий змішаний нікель-марганець-кобальтовий оксид)

Table 3.

Battery	Voltage	Current	Grade (C)	Life Cycle	Weight (kg)
NMC	3.7V	2.5Ah	3C	1100	0.045
LPO	3.2V	6Ah	3C	1500	0.14
LTO	2.3V	30Ah	10C	25000	1.23

Розрахунки для кількості комірок:

$$1. N_{cs} = V_{bp} / V_{bc}$$

$$2. N_{cp} = I_{bp} / I_{bc}$$

N_{cs} - кількість послідовно з'єднаних елементів, V_{bp} - напруга двигуна, V_{bc} - напруга кожного елемента батареї, N_{cp} - кількість паралельно з'єднаних елементів, I_{bp} - струм двигуна, I_{bc} - струм батареї

I_{cp} - кількість паралельно з'єднаних елементів, I_{br} - струм двигуна, I_{bc} -

струм кожного елемента батареї.

Необхідні дані одного елемента: -

Напруга (V), Номінальна ємність однієї батареї (Ah), Клас (C).

Потужність (Wh) = (Ah) * (V)

Швидкість розряду (Струм) = (C) * (Ah)

Час роботи = $1/(C)$ в годинах.

Розрахунок накопиченої енергії, струму і напруги для комплексу послідовно і паралельно з'єднаних батарей

Ємність блоку батарей = (Струм блоку) * (Час роботи)

Потужність блоку батарей = (Напруга блоку батарей) * (Ємність блоку батарей)

Вартість елементів LTO найвища, але життєвий цикл цих елементів у 3 рази перевищує життєвий цикл NMC/LPO.

Розрахунок елементів в акумуляторному блоці проводять виходячи з 100% ККД двигуна. ККД двигуна, трансмісії та електронних компонентів вважається рівним мінімум 80%.

Table 4.

Motor	Cells			Capacity(kWh)	Cost per Charge (INR)
	Series	Parallel	Total		
	PMAC	40	88		
PMDC	40	94	3760	34.780	206.68-313.02
PMDC(M1002)	56	89	5204	29.637	177.82-266.73
Induction Motor	113	31	3503	32.402	194.41-291.62

LPO cells:

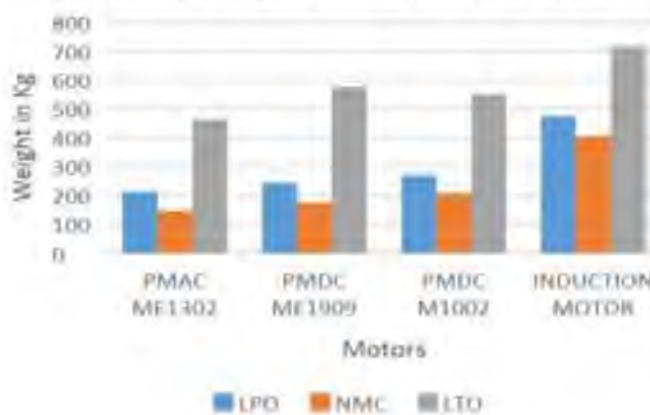
Table 5.

Motor	Cells			Capacity(kWh)	Cost per Charge (INR)
	Series	Parallel	Total		
	PMAC	42	40		
PMDC	47	38	1786	34.291	205.75-308.62
PMDC(M1002)	46	34	1564	30.028	180.17-270.25
Induction Motor	132	13	1716	32.947	197.68-296.52

Table 6.

Motor	Cells			Capacity(kWh)	Cost per Charge (INR)
	Series	Parallel	Total		
	PMAC	55	8		
PMDC	66	8	528	36.432	218.59-327.88
PMDC(M1002)	65	7	455	31.395	188.37-282.55
Induction Motor	216	2	432	29.808	178.84-268.27

Battery weight along with motor



Порівняння ваги акумулятора

НУБІП України

Розраховуються експлуатаційні витрати дизельного трактора для порівняння з експлуатаційними витратами електричного трактора.

Тут основна увага приділяється регіонам Київської і Черкаської, де середній розмір ферми становить близько 50 га, що приблизно дорівнює 500 000 м².

Тут розглядається найширше пристосування, що використовується в сільському господарстві, яке являє собою офсетну 22-дискову борону. Ширина становить 2,5 м. Таким чином, щоб використовувати дискову борону на всьому полі, трактору необхідно подолати відстань 9 км. Таким чином, середня

швидкість трактора вважається рівною 6 км/год, і, використовуючи цю

інформацію, розраховується середній час. Використовуючи цю інформацію,

розраховується середній час, а також враховується середня витрата палива трактора, всього буде потрібно близько 10 літрів палива. Вартість дизельного

палива станом на серпень 2020 року, експлуатаційні витрати для дизельного

трактора становить 41,98 грн/км. Експлуатаційні витрати електричного трактора

можна розрахувати, прийнявши коефіцієнт руху рівним 13,335 і з розрахованої

ємності акумуляторної батареї 24,199 кВт. Запас ходу та середня швидкість

становлять 200 км і 15 км/год відповідно. Споживання енергії розраховується

шляхом ділення потужності та швидкості.

Вартість одиниці споживаної енергії на кілометр розраховується як 1,613

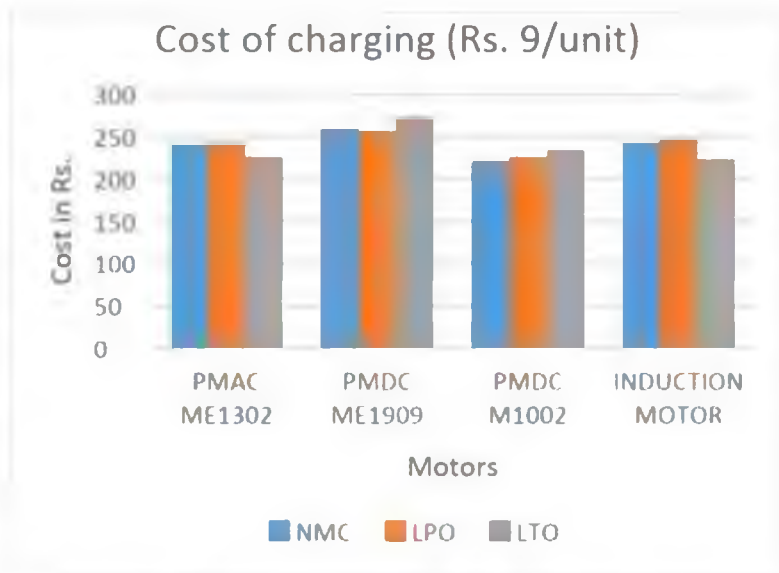
одиниці/км. Вартість одиниці в Україні станом на серпень 2020 р. і вартість

кілометра для електричного трактора становить 6,35 грн/км. [Рис. 3].

З наведених вище розрахунків можна зробити висновок, що електричний

трактор ефективний на 84,86% з точки зору вартості

НУБІП
НУБІП



ІНІ
ІНІ

У представленій роботі проводиться аналітичне порівняння між електромобілем і дизельним трактором шляхом вивчення технічних характеристик транспортного засобу, акумулятора та двигуна. Трактори з потужністю 40-50 к.с. домінують на ринку тракторів, і необхідно внести зміни, враховуючи забруднення довкілля та підвищення вартості палива. Електричний трактор має менший вплив на довкілля, ніж дизельний трактор. Крім того, розраховуються експлуатаційні витрати електричного і дизельного трактора, і результат показує, що електричні трактори дешевші в довгостроковій експлуатації, що на 84% дешевше за дизельний трактор.

НУБІП України

НУБІП України

5) Теорія постановки та проведення експерименту

Експеримент - це науково поставлений дослід для цілеспрямованого

вивчення явища, що цікавить, у точно розрахованих умовах, коли можна

простежити перебіг зміни явища, впливати на нього за допомогою комплексу

НУБІП України

пристроїв і за необхідності повторювати його багаторазово. За структурою

експерименти поділяють на:

- **Натурні** - у цьому експерименті дослідник має справу безпосередньо з об'єктом дослідження, що вивчається, або явищем;

- **Модельні** - тут об'єкт дослідження замінюють його моделлю, тобто деякою подобою оригіналу, що зберігає його особливості, істотні для цього дослідження.

Модель при цьому виконує в експерименті подвійну роль. По-перше, модель є об'єктом експериментального дослідження, а по-друге, є засобом

експериментального дослідження щодо досліджуваного об'єкта. А також є такий

різновид модельного експерименту, як імітаційне моделювання, за якого

відповідні характеристики об'єкта, що вивчається, досліджуються за допомогою розроблених програм моделювання та алгоритмів.

Експеримент цього виду вирізняється своєю універсальністю і великою

сферою застосування. За стадіями наукових досліджень експерименти поділяють на:

- **Лабораторні** - призначені для вивчення загальних закономірностей різних процесів і явищ, а також для перевірки наукових гіпотез і теорій.

- **Стендові** - дослідження проводять, щоб вивчити конкретний процес, який протікає в досліджуваному об'єкті з певними фізичними, хімічними та іншими властивостями. За результатами цих досліджень судять про різні недоробки при створенні нового об'єкта, а також складають рекомендації щодо випуску виробів і умов його експлуатації.

- **Промисловий** - експеримент відбувається під час створення нового виробу або процесу за даними лабораторних і стендових випробувань, під час проведення контрольних-вибіркових випробувань якості продукції, що випускається.

- **Інженерний експеримент** - сукупність дослідів, об'єднаних єдиною системою обмежень і єдиною метою як у просторі, так і в часі.

Розглянемо класифікацію інженерного експерименту:

1) **якісний** - цей експеримент ставить за мету встановити, чи є чи немає в об'єкта певних властивостей або характеристик;

2) **вимірювальний** - має на меті встановити виявлення кількісних характеристик досліджуваного об'єкта чи явища;

3) **пасивний** - є традиційним методом, він передбачає вивчення, коли відбувається велика серія дослідів із почерговим зміною чинників, які впливають на об'єкт;

4) **активний** - передбачає вивчення явища в усьому діапазоні факторів лише в актуальних точках (мінімум, секція)

Кожен експеримент може бути розбитий на чотири основні етапи: 1)

1) підготовка до експерименту, постановка завдань (його цілей); 2) його планування;

3) підготовка і проведення дослідів; 4) опрацювати отримані результати експерименту, проаналізувати і зробити висновки та рекомендації. Планування експерименту - це ціла процедура вибору числа і послідовності постановки дослідів, необхідних і достатніх для досягнення мети експерименту з необхідною точністю.

Кожен експеримент може бути розбитий на чотири основні етапи.

1) підготовка до експерименту, постановка завдань (його цілей);

2) його планування;

3) підготовка і проведення дослідів;

4) опрацювання отриманих результатів експерименту, аналіз, а також висновки і рекомендації.

Планування експерименту - це ціла процедура вибору числа і послідовності постановки дослідів, необхідних і достатніх для досягнення мети експерименту з необхідною точністю. Існує ще таке поняття, як теорія планування експерименту, що дає змогу за мінімальної кількості дослідів отримати математичну модель процесу і визначити оптимальні шляхи його розвитку. Основою теорії планування є математична статистика і теорія ймовірностей, оскільки результати експерименту здебільшого є випадковими величинами або процесами. Причиною цього можуть бути неконтрольовані умови проведення експерименту, помилки спостережень, вимірювань тощо. Мета експерименту має містити не тільки

перелік очікуваних результатів, а й вимоги до їхньої точності, а також ширше і глибше вивчити теми наукового дослідження. Експерименти також розрізняють на природні та штучні. У разі природного експерименту дослідник спостерігає за тим, що відбувається, і чекає, доки в ньому самостійно виникне така ситуація, у якій вона буде відігравати роль незалежної змінної, бо він заздалегідь не обирає і

не готує цю змінну. Такі експерименти відбуваються при вивченні соціальних явищ в обстановці, наприклад, виробництва, побуту, а також і в інших. Є й недолік у такого виду експерименту, що рідко може виникнути дана ситуація і те що немає попереднього спостереження за розвитком цього природного процесу. У

багатьох природничих дослідженнях широко використовуються експерименти штучні. Цей вид експерименту вивчає явища, які ізольовані в потрібному ступені так, щоб можна було оцінити їх у якісних і кількісних відношеннях. Організацію експерименту можна розділити на: звичайну, спеціальну, унікальну і змішану.

Звичайні експерименти - їх проводять у лабораторіях за доступними методиками, де застосовують порівняно просте експериментальне обладнання, і вони пов'язані із завжди одноманітними вимірами та обчисленнями. Спеціальні - це експерименти, які створюють і досліджують різні прилади та апарати, наприклад, засоби автоматизації, елементи, вузли контрольно-вимірювальних систем.

Експерименти, які проводять на складному експериментальному обладнанні, що характеризуються великими обсягами даних з експерименту, високою швидкістю протікання даного процесу і широким діапазоном зміни характеристик

називаються унікальними. Під складним обладнанням можна розуміти таке

обладнання як: типи ядерного реактора, нові види суден, літаків тощо. У змішані експерименти входять різні види різнотипних експериментів і об'єднані єдиною програмою дослідження та пов'язані один з одним, результатами досліджень.

В інженерну теорію експерименту входять 3 головні напрямки:

1) Напрямок - подібності та моделювання, тут цей напрямок відповідає на такі питання як: "Які потрібно вимірювати величини, коли проводиться експеримент?" "А в якому вигляді опрацювати результати, так щоб висновки

виявилися справедливими не для даного окремого випадку, а й для групи об'єктів або явищ?"

2) Напрямок - це планування експерименту з математичної точки зору. Цей напрям об'єднує всі процедури, які потрібні для побудови шуканих залежностей з мінімальними витратами.

3) І напрямок - це відбувається статистична обробка даних експерименту. Дані, які ми отримали, мають похибки, з них можна отримати достовірні результати. З перерахованих вище кожен напрямок є окремою досить значущою галуззю знань, що розвивається, з фундаментальними дослідженнями.

6. Розробка тракторної платформи на електроприводі

Останніми роками, зі швидким розвитком індустріалізації, сільськогосподарська техніка поступово замінила традиційні трудомісткі методи ведення сільського господарства, підвищила ефективність праці та знизила вимоги до робочої сили.

Це серйозна зміна в сільськогосподарській історії. Сьогодні сільськогосподарська техніка розвинулася в різні форми, наприклад, сільськогосподарська техніка для обробітку орних земель, для посадки та удобрення, для управління полями тощо.

Однак широке використання сільськогосподарської техніки збільшує використання автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння, що призводить до забруднення повітря, забруднення довкілля, збільшення кількості автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння.

Однак широке використання сільськогосподарської техніки збільшує використання автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння, що призводить до забруднення повітря, нанесення шкоди навколишньому середовищу та швидкої витрати земельних ресурсів.

Згідно зі статистичними даними, світові ресурси природного газу, нафти і вугілля можуть бути забезпечені ще на 30 років, 55 років і 152 роки відповідно [1]. Глобальна екологічна свідомість поступово зростає. Для того щоб зменшити шкоду, яку завдають навколишньому середовищу, багаті країни почали активно пресувати галузі, пов'язані з електромобілями, і досягли хороших результатів у галузі батарей, гібридних транспортних засобів та електромобілів.

Трактор – це транспортний засіб, який часто використовується в сільському господарстві. Здебільшого він використовується для буксирування інших нерухомих сільськогосподарських машин для ведення сільського господарства, збирання врожаю і посіву. Для автомобілів ключовими критеріями

продуктивності є швидкість, сила навантаження і тяга, але для тракторів

швидкісні характеристики і сила тяги не важливі. Трактор має тягнути сільськогосподарську техніку та здійснювати обробку сільськогосподарських угідь. Трактор може мати різні режими роботи залежно від сільськогосподарських

знарядь, якими він оснащений. Якщо на тракторі встановлено західний плуг,

борону, граблі тощо встановлено позаду трактора, то можна виконувати оранку.

Якщо трактор оснащений ротаційним плугом, то пристрій передачі потужності трактора передавальний пристрій трактора може бути використаний для ротаційного обробітку ґрунту. Додавання плоскої ґрунтової дошки або

рисопересадочної машини до трактора, можна виконувати операції з

вирівнювання ґрунту або посадки, тому трактор необхідний у сільському господарстві.

Сільськогосподарські трактори, що використовуються в Тайвані, меншою

мірою приводяться в рух двигунами. Однак, як тенденція для дрібних фермерів,

теплична посадка підкреслює розвиток технологічного сільського господарства і контролюється навколишнім середовищем.

Розвиток сільськогосподарської техніки повинен відповідати вимогам

користувачів і забезпечувати безпечну та екологічну конфігурацію, що дає змогу

знизити потребу в робочій силі та підвищити комфорт роботи. Комфорт для поліпшення сільськогосподарського виробництва.

Електричні трактори вивчаються з 19 століття. Перший електричний трактор

з'явився в США [2,3], а наступні розробки в основному працювали від

аккумуляторів.

Електричний трактор потужністю 36,8 кВт, вироблений німецькою компанією Siemens у 1912 році, був першим електричним трактором, який

здебільшого використовувався для ротаційного обробітку ґрунту. Німецька

компанія, Vungartz у 1945 році розробила електричний трактор під назвою Törfeg.

Він був оснащений коробкою передач і мав функцію регулювання швидкості.

Його ключовою характеристикою був рух як вперед і назад без повороту [5].

Пізніше компанія General Electric (США) представила серію електричних тракторів Elec-Trak серію електричних тракторів. Цей електричний трактор використовував свинцево-кислотні батареї для приводу безщіткового двигуна з постійним магнітом. Потужність двигуна становила від 5,9 кВт до 11 кВт. Крім того, трактор був оснащений роторним перетворювачем, який міг буксирувати інші сільськогосподарські знаряддя [6]. З 1990-х років технології керування та акумуляторних батарей розвиваються швидко розвивалися, і продуктивність електричних тракторів поступово поліпшувалася.

Матеріали та методи

Конструкція транспортного засобу була розділена на чотири частини: конструкція кузова транспортного засобу, яка є легкою та містить міркування безпеки; силова установка та керування транспортним засобом, яка є легка та містить міркування безпеки; силова установка та керування транспортним засобом, яка забезпечує потужність транспортного засобу та охоплює низку системної інтеграції та безпілотного керування; дизайн механізму, який покращує механічні функції та аналізує стан водіння транспортного засобу; та водіння транспортного засобу; і польові випробування та впровадження всього транспортного засобу

Мідрозділи показано на малюнку 1.

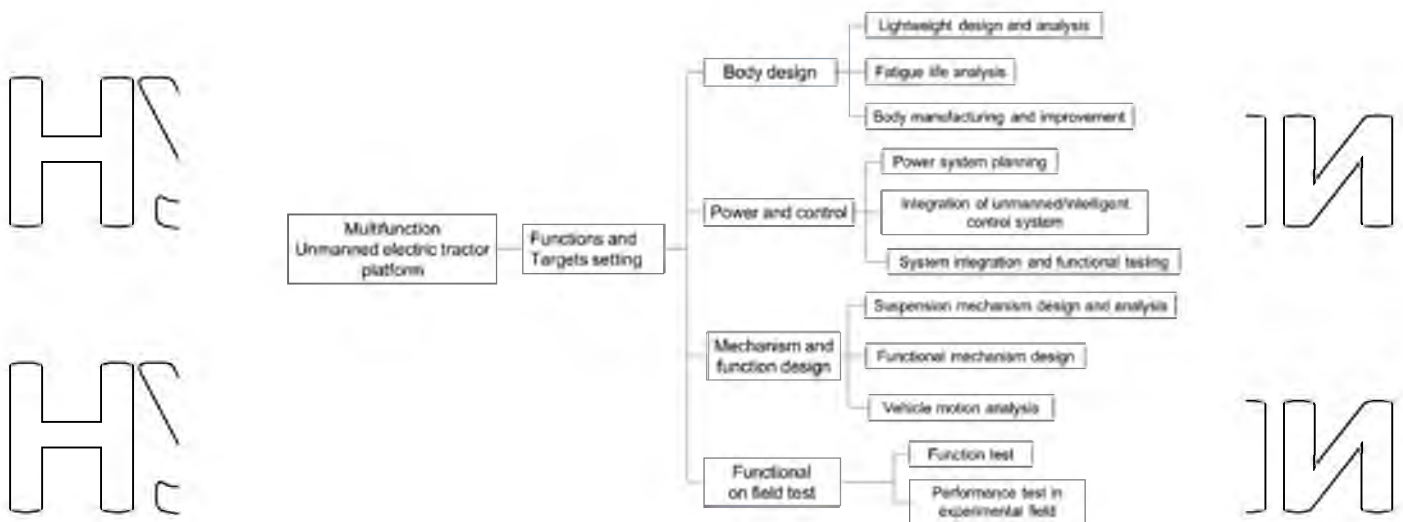


Figure 1. Planning of the division for vehicle design.

Тип трактора та відповідне навантаження впливають на споживану потужність і конструкцію транспортного засобу. Для невеликого електричного трактора розмір, маса і потужність двигуна менші, ніж для трактора з високим навантаженням. Проектований трактор буде використовуватися в основному для ротаційного обробки ґрунту і оранки, тому опори розраховуються на основі операції ротаційного обробки ґрунту.

Оскільки проєктований електричний трактор буде експлуатуватися здебільшого в теплицях, які мають доволі рівний ґрунт, то опори розраховуються на основі операції ротаційного обробки ґрунту.

Оскільки проєктований електротрактор здебільшого експлуатуватиметься в теплицях, які мають досить рівну місцевість, опір схилу та опір повітря трактора не враховуються.

Конфігурацію та параметри показано на малюнку 2 і в таблиці 1.

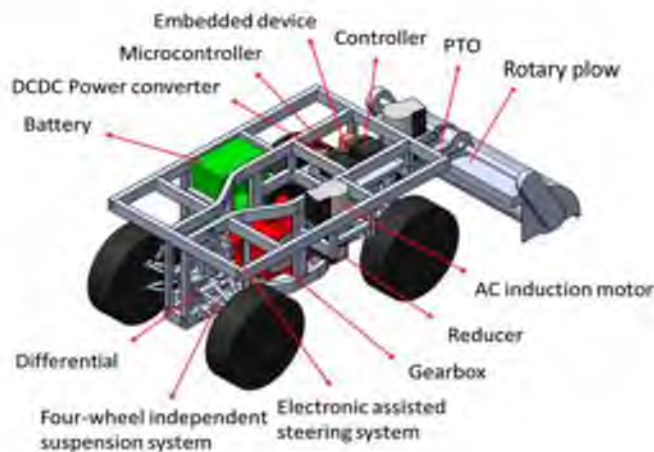


Figure 2. System configuration of the electric tractor.

Table 1. Vehicle parameters of the electric tractor.

Vehicle Parameters			
Length 1720 mm		Width 1100 mm	Height 660 mm
	Tire size Front 26 × 8-14	Rear 26 × 10-14	Total vehicle weight 650 kg

Крім того, тракторам потрібен широкий діапазон зміни зусилля, особливо під час роботи за великих навантажень, що вимагає більшого крутного моменту на виході. Тому редуктор повинен використовуватися для уповільнення і збільшення крутного моменту, щоб реагувати на різні умови. Приводний двигун може регулюватися і оснащений прямим і зворотним обертанням для досягнення вимоги до реверсивної передачі. Під час транспортування в польових умовах його можна перемкнути на вищу передачу для збільшення швидкості. Крім того, під час роботи в полі колеса можуть мати недостатнє зчеплення через дорогу або рельєф місцевості, тому потрібна система повного приводу. Виходячи з вищенаведеного аналізу, конфігурація системи живлення електричного трактора в цьому дослідженні показана на малюнку 3, яка оснащена електродвигуном, редуктором, диференціалом.

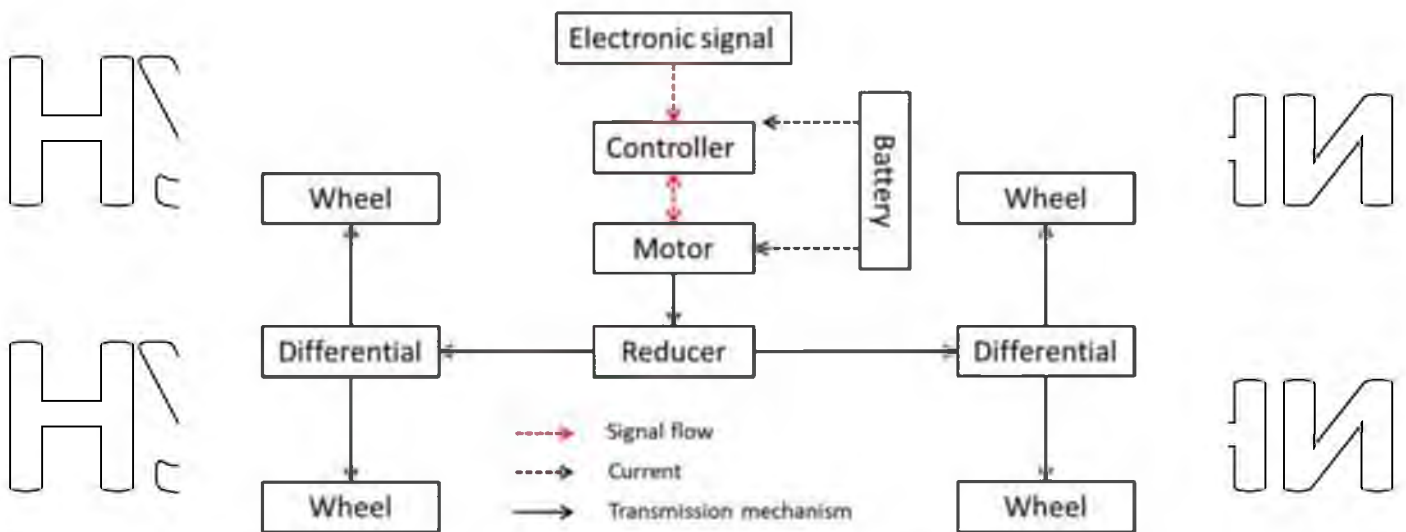


Figure 3. Power system configuration of the small electric tractor.

Конструкція кузова

Кузов малого трактора оснащений бортовим двигуном і акумуляторною батареєю система. Трактор має відповідати вимогам жорсткості, безпеки, міцності та довговічності. У процесі аналізу спочатку було створено прототип кузова автомобіля, потім використовувався аналіз оптимізації топології TOSCA для аналізу легкої ваги та кінцево-елементний аналіз ABAQUS для перевірки міцності, і, нарешті, аналіз топології TOSCA для перевірки міцності, і, нарешті, використовувався аналіз втомної міцності fe-safe для розрахунку втомного ресурсу кузова автомобіля на різних дорожніх покриттях.

Легка конструкція та аналіз кузова автомобіля

Під час планування простору було розглянуто положення навантаження кожної системи на транспортному засобі, як-от система живлення транспортного засобу, система рульового керування, система підвіски, система трансмісії, електронна система керування, акумулятор, противага, система живлення роторного плуга та інші системи: система, рульове керування, підвіска, трансмісія, електронна система керування, акумулятор, противага, система живлення роторного плуга і поворотний плуг тощо, як показано на малюнку 4. Необхідна опорна вага транспортного засобу охоплює систему живлення

транспортного засобу, систему рульового керування, систему трансмісії, електронну систему керування, акумулятор, противагу, роторний плуг і поворотний плуг.

Система, акумулятор, противага, система живлення роторного плуга, поворотний плуг та інші вантажі.

Цільова вага корпусу транспортного засобу становила 120 кг. Загальна вага оцінювалася в 650 кг. Для зниження виробничих витрат були обрані серійно випускаються система трансмісії і система підвіски з колісною базою 1297 мм.

Силова система була розміщена на лівій стороні кузова автомобіля для передачі потужності. Щоб збалансувати центр тяжіння, дві літієві батареї були розміщені на правій стороні кузова автомобіля щоб зменшити ймовірність перевертання.

Планувалося, що силова система матиме розміри 350 мм у довжину, 338 мм завширшки, і 285 мм у висоту, а батарея - 338 мм завширшки, і 660 мм у висоту, і 480 мм у довжину.

Під час транспортування роторний плуг у задній частині кузова транспортного засобу буде піднято, а центр тяжіння буде зміщено назад. Тому в передній частині кузова автомобіля було встановлено противагу вагою близько

100 кг, щоб підтримати баланс. Виходячи з вищезазначеної конфігурації, попередній розмір рами становив 1720 мм у довжину, 1100 мм завширшки і 660 мм у висоту. Для того щоб виконати необхідну настройку в існуючих умовах, були оцінені транспортні засоби були оцінені типи транспортних засобів,

аналогічні даному дослідженню, було проведено планування простору всього

транспортного засобу в цілому включно з трансмісією, типом підвіски, колісною базою, типом і кількістю акумуляторів тощо.

Було створено прототип електричного трактора, і було проведено аналіз оптимізації топології цієї конструкції. Згідно з аналізом топологічної оптимізації, було отримано загальний розподіл структурних матеріалів для порівняння, і було запропоновано попередній концептуальний дизайн електричного трактора.

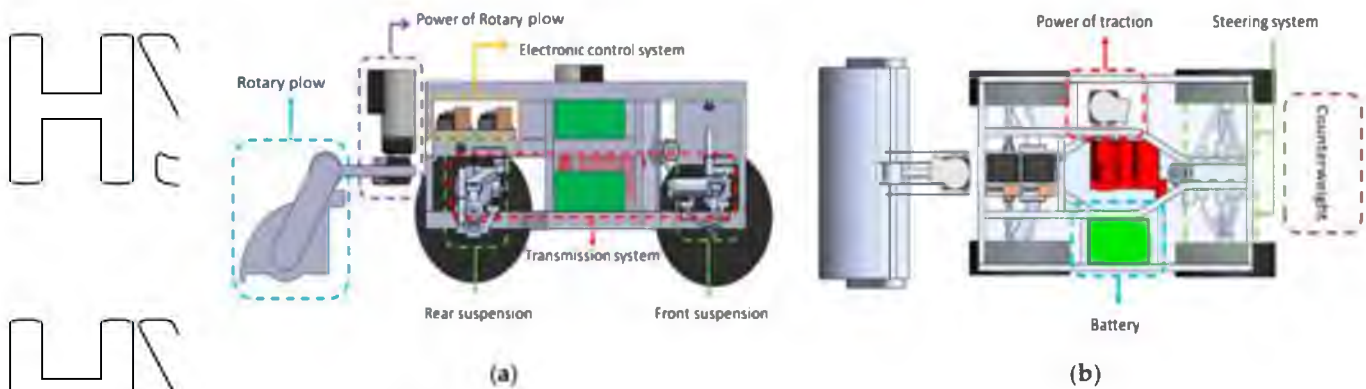


Figure 4. Space planning of car body, (a) Side view; (b) Top view.

Необхідно було підтвердити, чи відповідає попередній концептуальний проєкт цілям проєктування. Після того, як мети проєктування було досягнуто, було розглянуто можливість виробництва з урахуванням зварювальної деформації та інтерференції компонентів. Тіло попереднього концептуального було змінено для отримання остаточного ескізного проєкту. Завершений кузов автомобіля був імпортований в ABAQUS для створення кінцево-елементної моделі та проведення аналізу жорсткості та аналіз міцності для підтвердження того, що жорсткість і міцність кузова автомобіля відповідають проєктним цілям. Якщо проєктні цілі не були досягнуті, конструкцію було змінено. Після того як було отримано остаточний кузов автомобіля було отримано, його було імпортовано в програму fe-safe для аналізу втоми. Теорія втоми міцності і метод підрахунку циклів дощового потоку були використані для розрахунку втоми міцності термін служби. На малюнку 5 показано процес аналізу полегшеної конструкції малого електричного трактора для даного дослідження.

По-перше, прототип кузова транспортного засобу, який був запланований під час планування простору, був імпортований в ABAQUS для побудови скінченно-елементної моделі, як показано на малюнку 6. Потім область яка повинна бути полегшена в програмі аналізу оптимізації оптимізації топології TOSCA, була визначена як зона проєктування, показана зеленою областю на малюнку 7. З огляду на сумісність підвіски і системи трансмісії, простір і жорсткі точки були зарезервовані для амортизаторів, верхніх і нижніх важелів управління, системи

живлення, системи рульового управління, і трансмісії тощо. Зовнішня рама

автомобіля була визначена як зона, що не підлягає проектуванню,

червона область, показана на малюнку 7. Далі було визначено параметри матеріалу кузова автомобіля в розрахунковій і нерозрахунковій зонах. У даному

дослідженні в основному використовувалася високоміцна сталь SPFH 590 і STKM

11A. Властивості матеріалів наведено в Таблиці 2. Аналіз оптимізації топології,

який являв собою аналіз умов навантаження, включно з вигином, кручення і

гальмування з повним навантаженням, був в основному статичним. Умови

навантаження цих три типи були однаковими, і вага всіх несучих об'єктів була

прикладена до кузова автомобіля, як показано на малюнку 8. Потім граничні

умови були задані окремо відповідно до аналізу міцності під час вигину, аналізу

міцності під час крутіння й аналізу міцності під час гальмування.

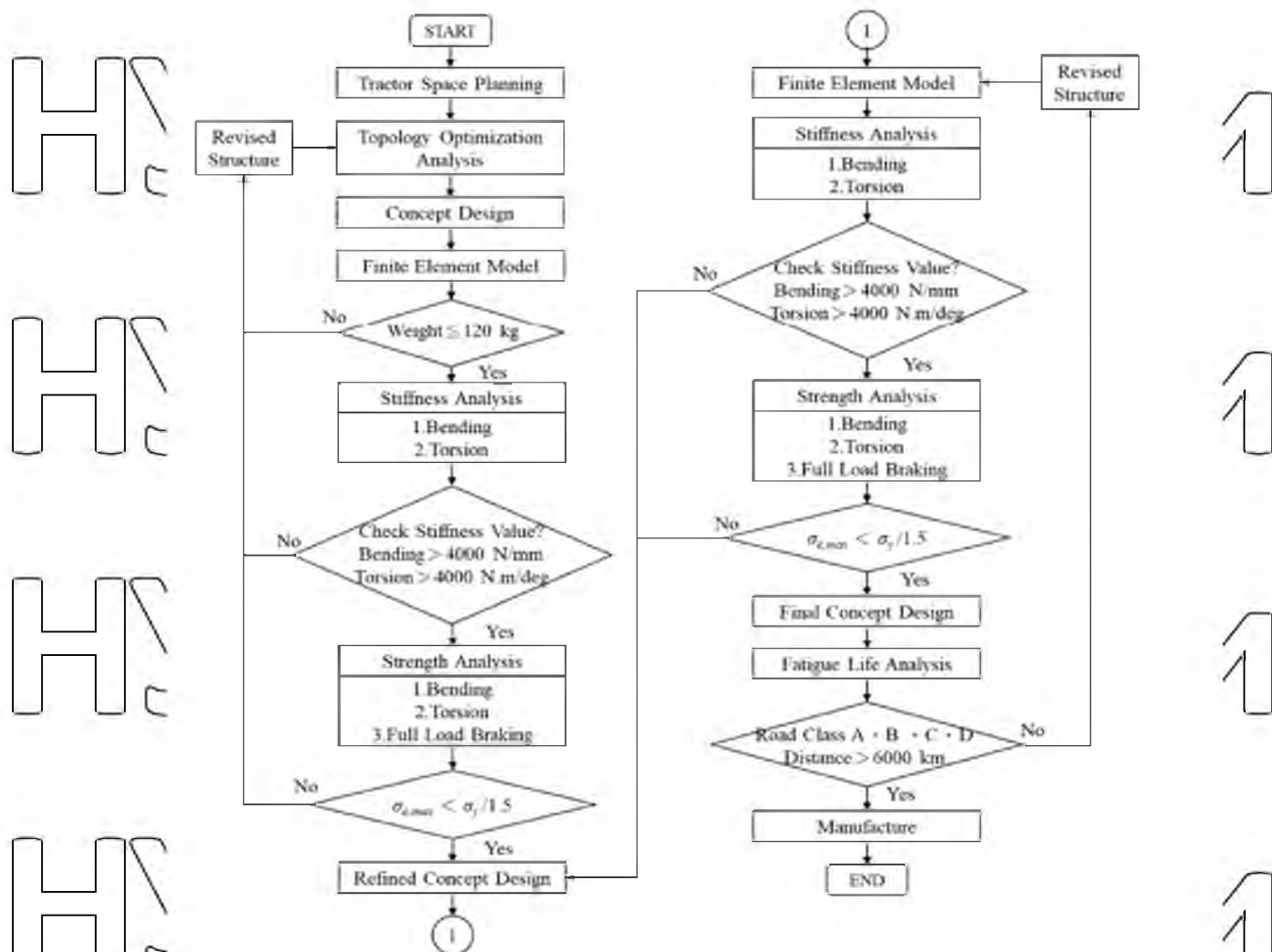


Figure 5. Analysis process of the lightweight design of the small electric tractor.



Figure 6. The finite element model of the vehicle body prototype.

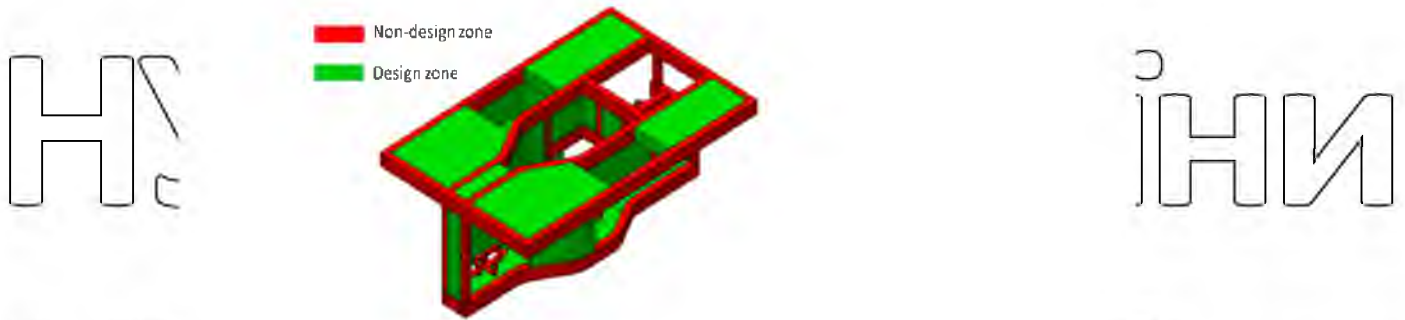


Figure 7. The design area of the vehicle body prototype.

Table 2. Material properties.

Type Parameter	SPFH 590	STKM 11A
Density (kg/m ³)	7850	7850
Young's Modulus (MPa)	210	210
Yielding Stress (MPa)	420	175
Ultimate Stress (MPa)	590	290
Poisson's Ratio	0.3	0.3

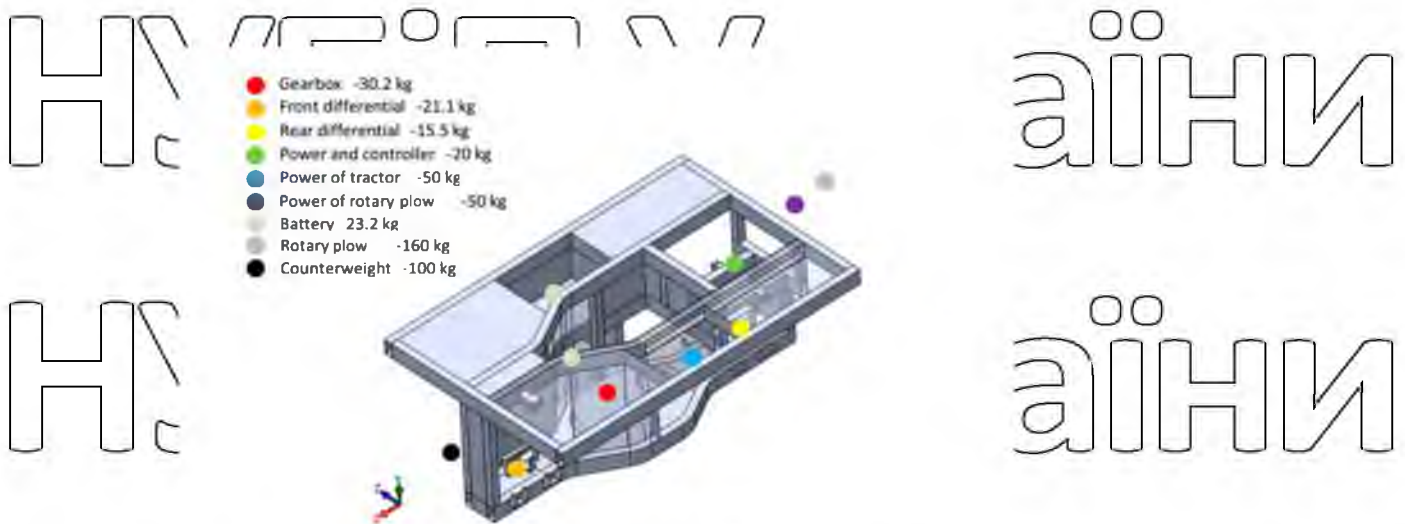


Figure 8. Load conditions on the prototype of the vehicle body.

НУБІП України

Аналіз довговічності

Для підтвердження втомної міцності рами, геометрична модель остаточного концептуального проекту кузова автомобіля була імпортована в ABAQUS для створення скінченно-елементної елементарної моделі.

Під час аналізу втомної довговічності кузова автомобіля система підвіски не піддавалася аналізу втомної міцності; модель підвіски була описана у вигляді

НУБІП України

спрощених балочних елементів. На малюнку 9 K_f це значення жорсткості

пружини переднього амортизатора, K_r – значення жорсткості заднього

амортизатора, значення жорсткості пружини заднього амортизатора, C_f – це значення демпфірування переднього амортизатора і C_r – величина демпфірування

заднього амортизатора. Спрощена модель підвіски була змодельована за

допомогою тривимірного двовузлового балочного елемента і визначена як

жорстке тіло. Під час аналізу втомної довговічності використовувалася

тривимірна динамічна пружно-пластична скінченно-елементна модель

використовувалася тривимірна динамічна пружно-пластична скінченно-елементна

модель, а тип елемента - восьмиузловий гексаедральний.

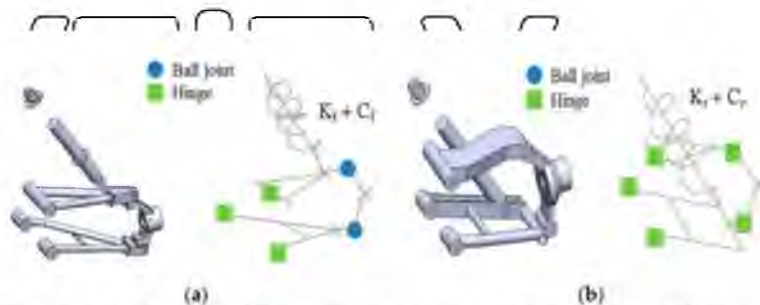


Figure 9. Finite element model of the suspension system. (a) Front suspension; (b) Rear suspension.

Параметри матеріалу

Коли автомобіль працює, структура кожної деталі зазнає різних напружень

від різних навантажень. Оскільки трактор часто працює в польових умовах, а робоче середовище є більш суворим, ніж звичайні транспортні засоби.

Порівняно зі звичайними транспортними засобами, було використано

високоміцну сталь SPFH 590, як основний матеріал конструкції транспортного

засобу. Через невелике навантаження між верхнім і нижнім шаром автомобіля, між

двома шарами була використана сталь STKM 11A. Підвіска, жорсткі точки і

посилена плита були використані для задоволення вимог на збірці з SPFH 590, які

були вирізані лазером і сформовані шляхом згинання. В інших частинах кузова

автомобіля використовувалися різні матеріали, як показано на малюнку 10.

Умови навантаження

Під час аналізу втомної довговічності до кузова автомобіля застосовували

різні умови навантаження залежно від умов роботи та операцій. Наприклад, роторний плуг було встановлено на землю і вважався як невідресорена маса.

Навантаження від роторного плуга було відсутнє під час аналізу. Крім того, під час ротаційного обробітку ґрунту виникає тяговий опір тому опір було прикладено до задньої частини кузова транспортного засобу.

Граничні умови

Граничні умови для аналізу втомної довговічності показано на рисунку 11.

На

K_f і K_r - жорсткість пружин передньої і задньої підвіски, відповідно, які дорівнюють 27,5 Н/мм. C_f і C_r - це значення демпфірування переднього і заднього амортизаторів підвіски, значення яких були встановлені як 0,96 Н·с/мм і 2,16

Н·с/мм, відповідно. Під час аналізу дорожні сигнали різного рівня в напрямку у

були прикладені на колісний центр. У таблиці 3 наведено параметри жорсткості пружини та амортизатора коефіцієнта демпфірування передньої та задньої підвісок під час аналізу втомної довговічності

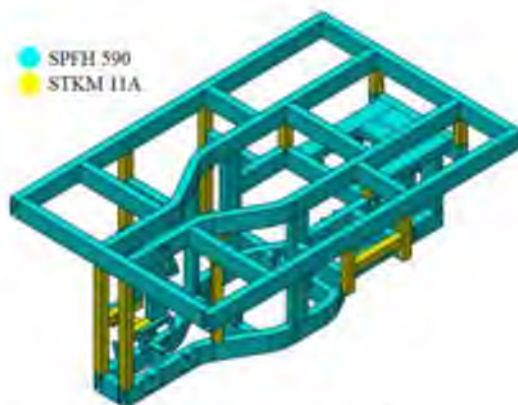


Figure 10. Material distribution of car body.

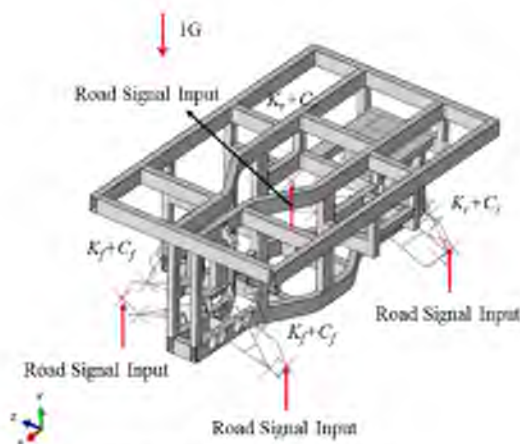


Figure 11. Boundary conditions for fatigue life analysis.

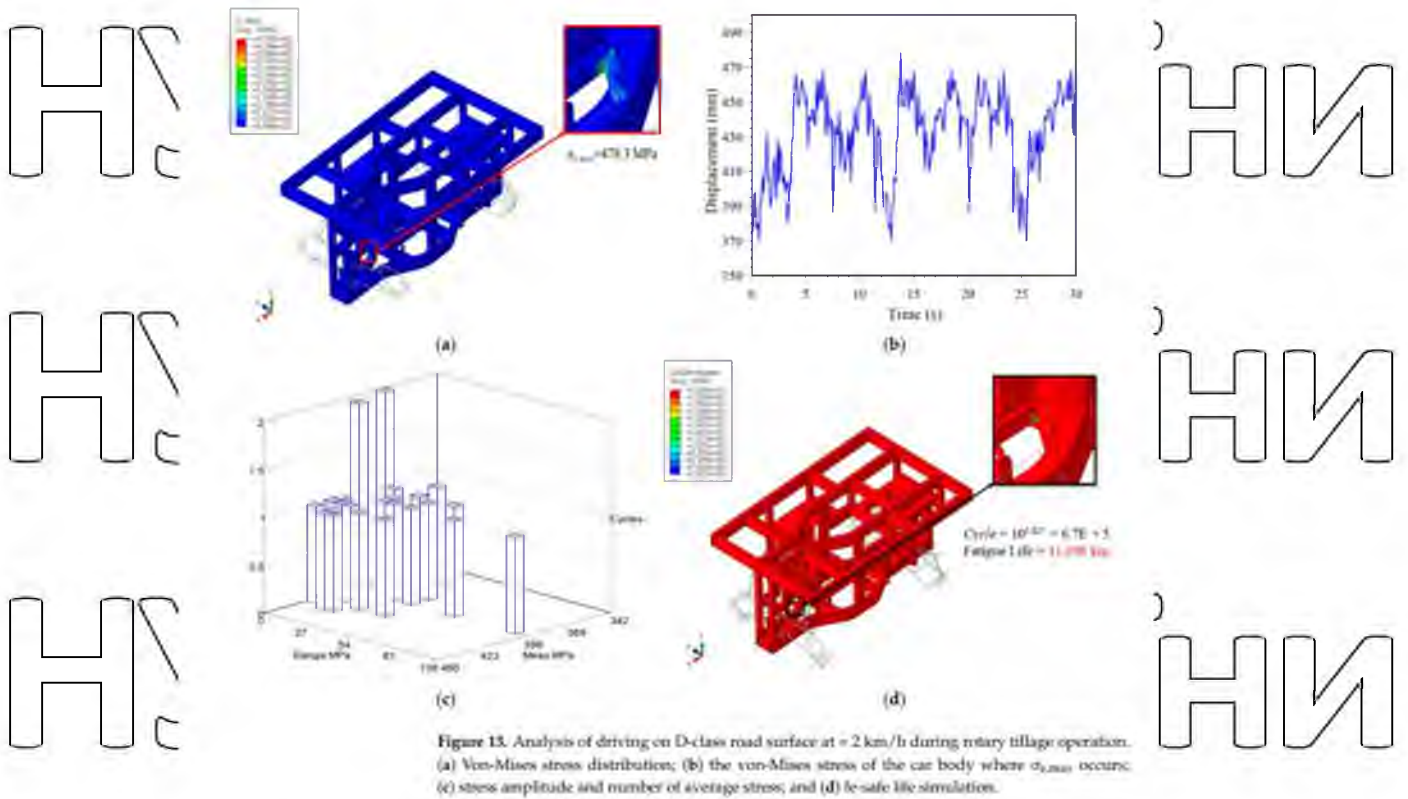
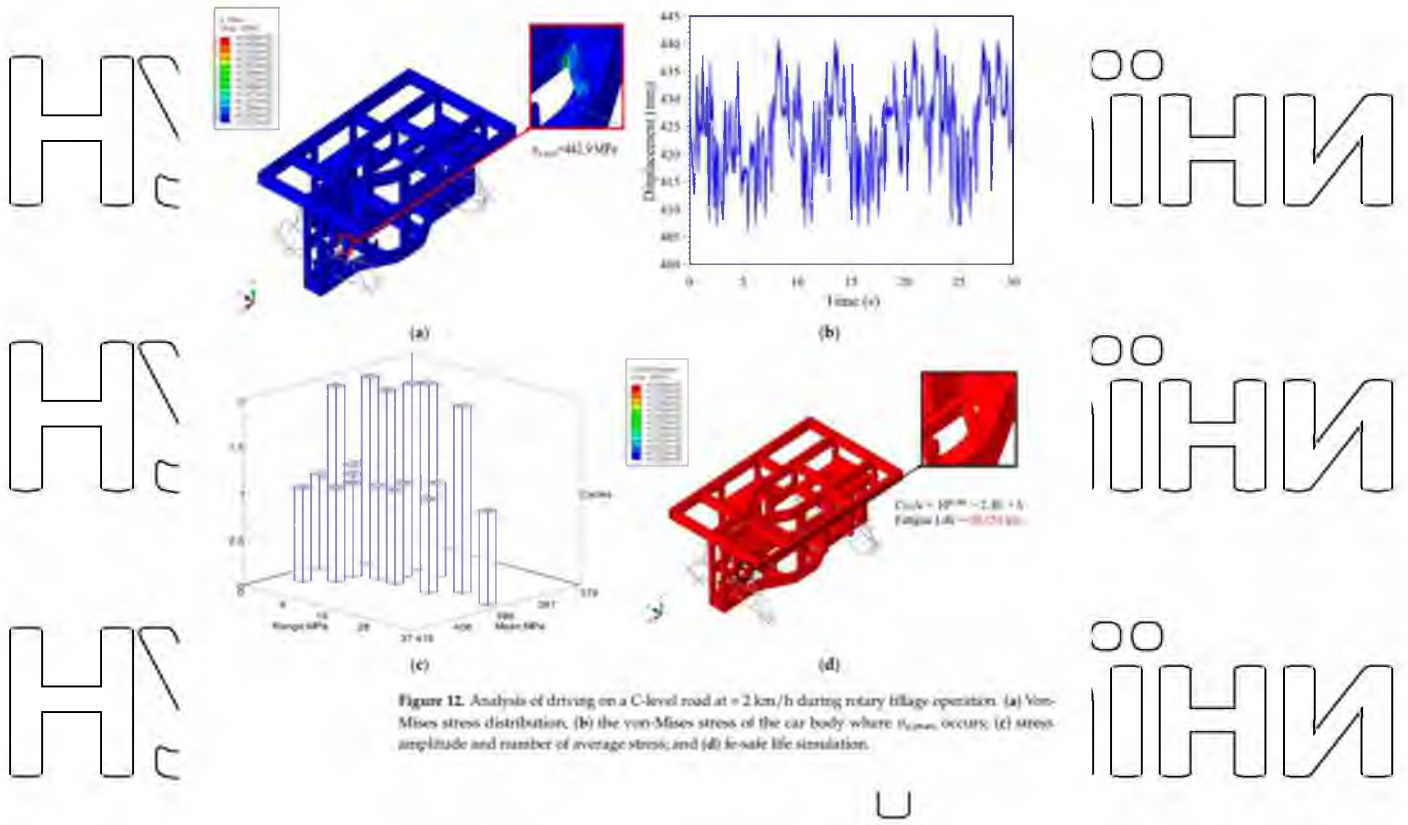
Table 3. Spring stiffness and damping coefficient value of suspension system.

	Front Suspension	Rear Suspension
Spring Constant (N/mm)	27.5 (Kf)	27.5 (Kr)
Damping Coefficient (Ns/mm)	0.96 (Cf)	2.16 (Cr)

fe-safe використовувався для прогнозування втомної довговічності. Від використовує метод дещового потоку для підрахунку кількості випадків виникнення амплітуди напруги та середньої напруги. Тут було обрано ротаційний обробіток ґрунту з більшим навантаженням було обрано для іностратції. Коли кузов автомобіля використовується для ротаційного обробітку ґрунту, на малюнках 12a і 13a показано діаграми розподілу напружень фон-Місеса, отримані в результаті моделювання руху кузова автомобіля по дорожньому покриттю рівня C і D на швидкості 2 км/год. Видно, що обидві напруги се,тах виникли в жорсткій точці верхнього важеля управління лівої передньої підвіски.

Рис. 12b і 13b. були відповідно імпортовані в програму fe-safe для розрахунку.

Метод підрахунку дошових потоків був використаний для розрахунку історії напружень на рівнях C і D. Амплітуда напруги та кількість повторень середньої напруги σ_m показані на малюнках 12c і 13c. Втомна довговічність кузова автомобіля, отримана в результаті моделювання за методом fe-safe, склала $N = 2,4 \times 10^6$ і $N = 6,7 \times 10^5$, що також означає, що автомобіль може проїхати 40 724 і 11 190 км, відповідно, як показано на малюнках 12d і 13d.



У зв'язку з різними умовами експлуатації та розподілом навантаження на трактор існують різні вимоги до продуктивності трактора. Система живлення електричного трактора має бути спроектована відповідно до розподілу навантаження в різних умовах експлуатації. Вона була розрахована відповідно до вимог транспортного засобу при різних умовах експлуатації, з відповідним приводним двигуном і редуктором.

Оцінка сили і планування системи живлення

Опір трактора пов'язаний з вибором характеристик силової установки, тому загальний опір трактора під час транспортування і ротаційного обробітку ґрунту може бути розрахований. Крім того, електричний трактор використовує два приводних двигуна (асинхронні двигуни) для операцій ротаційного обробітку ґрунту, один для приводу трактора, і один для приводу трактора, інший для приводу роторного плуга тощо. Коли трактор транспортується, двигун що приводить у дію роторний плуг, не працює. У цей час рушійна сила всього транспортного засобу відносно мала

Інтеграція безпілотних/інтелектуальних систем управління

Існує безліч досліджень з автономного водіння [12,13], але дуже мало розробок з інтелектуальних електромобілів для безпілотного водіння в сільському господарстві. Система безпілотного водіння використовує камери, оптичні радари, ультразвукові датчики та інші обладнання на транспортному засобі для забезпечення автономного водіння на полі для досягнення фіксованих точок або слідувати запланованим маршрутам для виконання сільськогосподарських та інших завдань.

Безпілотну систему водіння можна розділити на три частини: збір інформації, електронний блок управління (ЕБУ) і блок виконання. Частина збору інформації належить до компонентів збору інформації. Різні датчики збирають інформацію для різних систем.

Інформація, зібрана датчиками, передається в ЕБУ для аналізу та оброблення, і на основі результатів, розрахованих ЕБУ, подаються команди для блоку виконання. Малюнок 14 являє собою схему безпілотної системи водіння

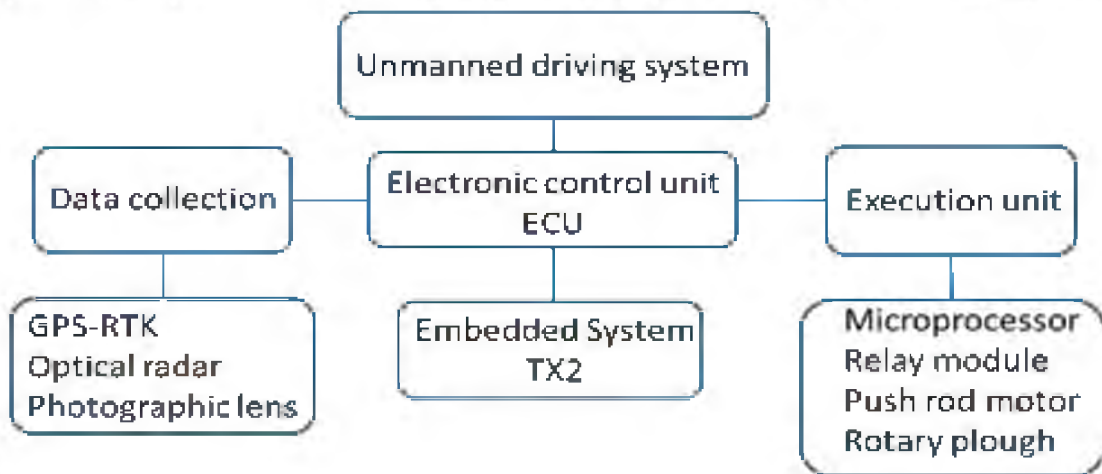


Figure 14. Unmanned driving system.

У системі позиціонування використовувалися два GPS-RTK. Вони були вкріплені паралельно, один був встановлений у центрі ваги автомобіля, а інший - у задній частині автомобіля.

Ці два GPS-RTK збирають різницю між поточним курсовим кутом і кутом напрямку до цільової точки. ПДД-регулятор отримує помилку кута від GPS-RTK, визначає, чи повинен автомобіль рухатися, повертатися або зупинитися, і відстежує цільову точку за допомогою GPS-RTK, розташованого в центрі ваги, для досягнення автономного руху.

Трактор використовує LiDAR для запобігання перешкодам і допомоги в навігації. Роторний плуг, що перевозиться трактором, небезпечний. LiDAR сканує 360 градусів навколо трактора, щоб зупинити трактор, коли він перебуває в небезпечі. Щоб зупинити трактор, коли об'єкт потрапляє в небезпечну зону, яка була визначена заново, і щоб запобігти потраплянню предметів у роторний плуг.

Щоб допомогти автономному транспортному засобу торкатися землі при надмірних підйомах і спусках, на додаток до наявного GPS-RTK було додано три

оптичні радары. Два з трьох оптичних радарів були розміщені на передній лівій і правій сторонах транспортного засобу для виявлення обох сторони автомобіля і для калібрування бічної точності автомобіля. Оптичний радар, що залишився, було встановлено в передній частині транспортного засобу для виявлення перешкод. Коли перешкоду виявлено на певній відстані перед транспортним засобом, роботу транспортного засобу буде зупинено. Транспортний засіб також було оснащено блоком обробки зображень для підтримки як показано на малюнку 15. Після того, як камера захоплює зображення, потрібні цілі в області інтересу (ROI) обробляються. Потім зображення перетворюється в напівтонову шкалу і бінаризується. Потім система Canny відстежує краї об'єктів і виконує дилатаційну обробку. Потім Хаф переносить краї для обчислення центральної лінії t

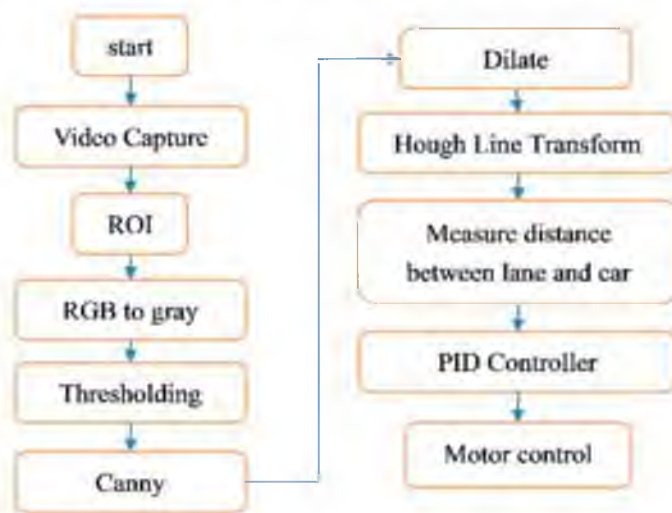


Figure 15. Image processing and control flowchart.

Для керування автомобілем використовується NVIDIA TX2 для збору всієї інформації з датчиків, обчислення зсуву автомобіля, поточного положення та функції опрацювання, а також для надсилання сигналів на відповідні MCU через шину CAN для керування двигунами. Система керування показана на малюнку 16.

Н
Н

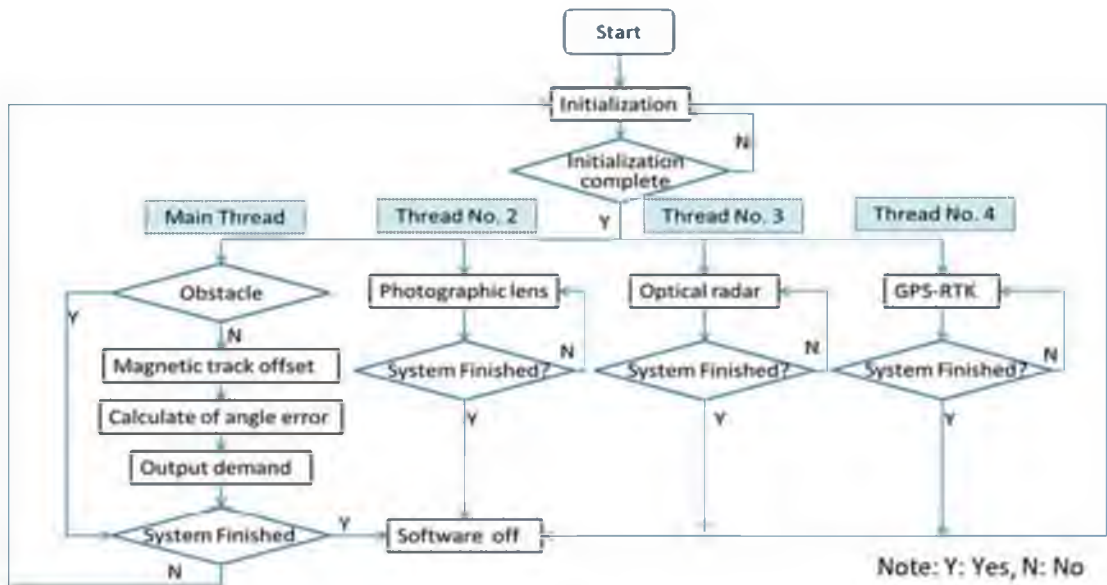


Figure 16. Control system flowchart.

Н
у
в
і
п
у
к
р
а
ї
н
и

Інтеграція та функціональне тестування системи транспортного засобу

Н
у
в
і
п
у
к
р
а
ї
н
и

Поле являє собою 10 гектарів розумної ферми, демонстраційна база сільськогосподарського виробництва площею 10 га. Культури на полі можуть бути посаджені та вирощувати відповідно до потреб дослідження. У цьому дослідженні було використано як сухі, так і вологі орні землі. Теплиця також була одним з обов'язкових місць проведення випробувань. На малюнку 18 представлено конфігураційну діаграму системи керування транспортним засобом. Архітектура програмного забезпечення була розділена на ручний і автоматичний режими. У ручному режимі оператор подавав сигнал акселератора на контролер двигуна для досягнення необхідного режиму руху, а сигнал рульового управління передавався в систему електронного підсилювача керма для управління усім транспортним засобом. В автоматичному режимі водіння оброблялися і фіксувалися дані про неточне положення на рівні першої секунди, розраховував маршрут руху з урахуванням поточного положення і заданого маршруту руху маршрут, а потім інформує контролер і електронну систему рульового

Н
у
в
і
п
у
к
р
а
ї
н
и

управління, щоб змусити трактор слідувати за маршрутом. Малюнок 19 являє собою закінчену схему невеликого електричного трактора для дослідження.

НУБІП України

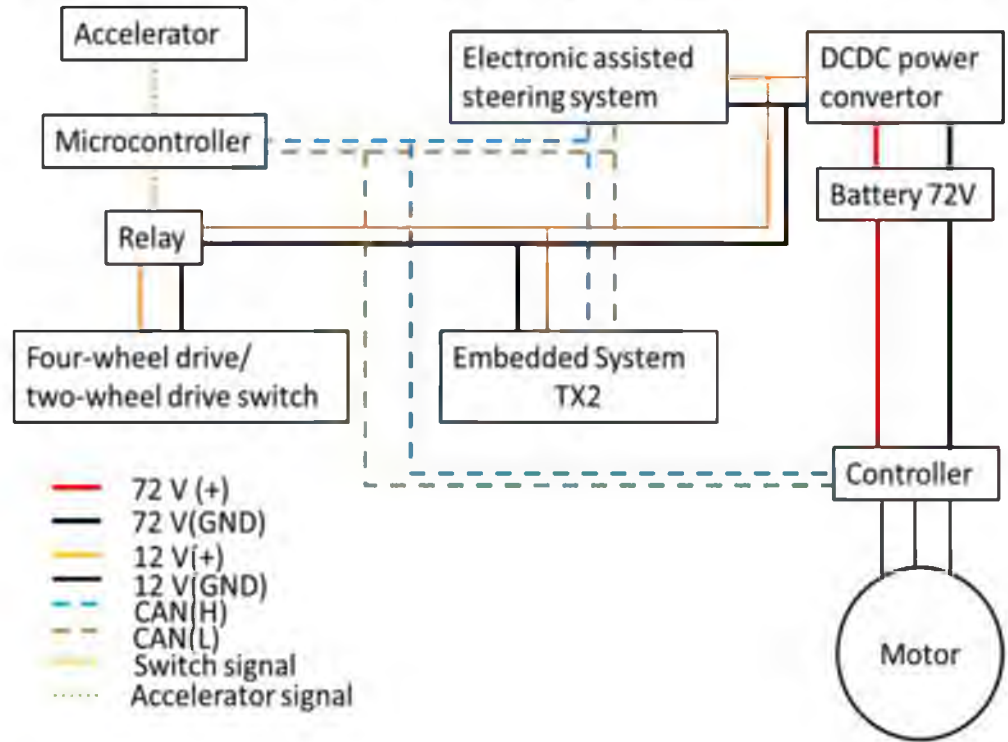


Figure 18. Configuration of vehicle control system.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



Figure 19. The small electric tractor.

Це дослідження було присвячене розробці невеликого електричного трактора з повним проєктуванням і виготовленням всієї системи транспортного засобу.

Концептуальний дизайн легкого кузова трактора було отримано за допомогою аналізу топологічної оптимізації та аналізу скінченно-елементної моделі, яку було використано для отримання жорсткості, міцності та втомної довговічності кузова автомобіля. аналіз кузова автомобіля. Нарешті, конструкція кузова, шасі та електрична система трактора

Нарешті, конструкція кузова, шасі та електрична система були завершені, інтеграцією системи управління транспортним засобом. На підставі результатів вищевказаного аналізу, можна зробити такі висновки:

1. Відповідно до процесу аналізу легкої ваги, вага пропонованого

транспортного засобу кузова складала 101 кг, а жорсткість на вигин і кручення складала 11 579 Н/мм і 4923 Н.м/дег, відповідно.

2. Під час аналізу міцності кузова транспортного засобу на вигин, кручення і

гальмування за повного навантаження кузова, максимальна напруга фон-Мізеса

була нижчою за межу плинності матеріалу на 2/3, що відповідає проектним вимогам.

3. Аналіз втомної міцності показав, що втомна міцність розробленого кузова

автомобіля досягає $6,5 \times 10^8$ км під час руху асфальтованою дорогою загального

призначення зі швидкістю 18 км/год. Під час обертання або опанки зі швидкістю 2 км/год втомна довговічність досягла 11 190 км і 23 166 км, відповідно.

НМБіП України

Методика розрахунку показників роботи електротрактора

Однією з ключових вимог нашої переробки електротрактора є досягнення швидкості 17 км/год з місця за 7 секунд. З цієї вимоги, знаючи вагу трактора, ми можемо розрахувати, яка загальна сила тяги та крутний момент. Також ми можемо перевірити, чи може тертя колеса (шини) витримати необхідну силу тяги.

Вхідними даними в нашому розрахунку є характеристика мінітрактора МТЗ-132:

- загальна вага транспортного засобу (споряджена маса трактора х коефіцієнт маси + вага водія): **600 кг**;
- початкова швидкість електромобіля: **0 км/год**;
- кінцева швидкість електромобіля: **17 км/год**;
- початковий час електромобіля: **0 с**;
- кінцевий час електромобіля: **7 с**;
- радіус кочення привідного колеса: **0,275 м**;
- коефіцієнт тертя шини: **0,75**;
- гравітаційне прискорення: **9,81 м/с²**;

Відповідно до другого закону руху Ньютона ми можемо записати рівняння **необхідної сили тяги** для розгону трактора від 0 до 17 км/год за 7 с:

$$F_T = m_V a = m_V \frac{v_F - v_I}{t_F - t_I} = 600 \frac{17 - 0}{7 - 0} = 1458 \quad \text{Н}, \quad (1)$$

де: F_T [Н] – необхідна сила тяги трактора; m_V [кг] – загальна маса трактора; v_F [м/с] – кінцева швидкість трактора; v_I [м/с] – початкова швидкість трактора; t_F [с] – кінцевий час розгону; t_I [с] – початковий час.

Необхідний тяговий крутний момент для розгону від 0 до 100 км/год за 5,3 с може бути розрахований як:

$$T_T = F_T r_W = 1458 * 0,275 = 426 \quad \text{Н м}, \quad (2)$$

де: T_T [Н] – необхідний тяговий крутний момент; r_W [м] – радіус колеса.

Розрахуємо наявну силу тертя як:

$$F_F = G\mu_F = m_V g \mu_F = 600 * 9,81 * 0,75 = 4415 \text{ Н}, \quad (3)$$

де: F_F [Н] – сила тертя; G [Н] – вага трактора; g [м/с²] – гравітаційне прискорення; μ_F [-] – коефіцієнт тертя (шина колеса-дорога).

Оскільки наявна сила тертя більша за тягову силу, припускаючи, що між колесами та дорогою немає ковзання, сила тяги може бути застосована до коліс для досягнення часу прискорення від 0 до 17 км/год.

Таблиця. Постійні параметри трактора

Оцінка величини сили, яка забезпечує перекочування трактора:

$$f_R \frac{mg}{\cos \alpha} = 0,01(600 * 9,81)/1 = 577,417 \text{ Н}$$

Маса трактора, кг	m	600
Прискорення вільного падіння, м/с ²	g	9,81
Коефіцієнт тертя кочення коліс, відн. од.	f_R	0,1
Косинус кута нахилу поверхні поля або дороги, відн. од.	$\cos \alpha$	1
Коефіцієнт лобового опору, Н с ² /м ⁴	k_{AR}	0,35
Площа лобової поверхні трактора, м ²	$S_{\text{ло}}$	1
Ефективність трансмісії, відн. од.	η_M	0,98
Ефективність електродвигуна, відн. од.	η_E	0,95
Ефективність акумуляторної батареї, відн. од.	η_A	0,85
Радіус кочення приводного колеса, м	r_S	0,275
Ємність акумуляторних батарей, кВт	E	2,4

НУБІП України

Таблиця Складові елементи тягової сили трактора

Маса	Показник		Значення
	Швидкість трактора, v		Сила подолання опору повітря,
	км/год	м/с	$H \quad k_{AR} S_F v^2$
600	17	4,72	7,8
650	17	4,72	7,8
700	17	4,72	7,8
750	17	4,72	7,8
800	17	4,72	7,8
850	17	4,72	7,8
900	17	4,72	7,8
950	17	4,72	7,8
100	17	4,72	7,8
Маса	Швидкість трактора, v		Сила на перекочування
	км/год	м/с	трактора, H $f_R \frac{mg}{\cos \alpha}$
600	17	4,72	577,417
650	17	4,72	625,535
700	17	4,72	673,653
750	17	4,72	721,771
800	17	4,72	769,889
850	17	4,72	818,007
900	17	4,72	866,125
950	17	4,72	914,243

Показник			Значення
100	17	4,72	962,360
Номер передачі	Швидкість трактора, v км/ГОД	м/с	Сила тяги трактора, Н $k_{AR} S_F v^2 + f_R \frac{mg}{\cos \alpha}$
600	17	4,72	585,2166
650	17	4,72	633,3347
700	17	4,72	681,4527
750	17	4,72	729,5708
800	17	4,72	777,6888
850	17	4,72	825,8069
900	17	4,72	873,9249
950	17	4,72	922,043
100	17	4,72	970,161
Номер передачі	Швидкість трактора, v км/ГОД	м/с	Потужність електродвигуна, Вт $k_{AR} S_F v^2 + f_R \frac{mg}{\cos \alpha} \frac{v}{\eta_{EM}}$
600	17	4,72	2966,941
650	17	4,72	3210,891
700	17	4,72	3454,841
750	17	4,72	3698,79
800	17	4,72	3942,74
850	17	4,72	4186,69
900	17	4,72	4430,64
950	17	4,72	4674,589
100	17	4,72	4918,539
Номер передачі	Швидкість трактора, v км/ГОД	м/с	Час роботи, год Є=2,4 кВт
600	17	4,72	0,81

Показник			Значення
650	17	4,72	0,7500
700	17	4,72	0,69
750	17	4,72	0,65
800	17	4,72	0,61
850	17	4,72	0,57
900	17	4,72	0,54
950	17	4,72	0,51
100	17	4,72	0,49
Номер передачі	Швидкість трактора, v		Питомі витрати енергії, Вт ГОД/КМ
	км/год	м/с	
600	17	4,72	205,3247
650	17	4,72	222,207
700	17	4,72	239,0893
750	17	4,72	255,9717
800	17	4,72	272,854
850	17	4,72	289,7363
900	17	4,72	306,6187
950	17	4,72	323,501
100	17	4,72	340,3833

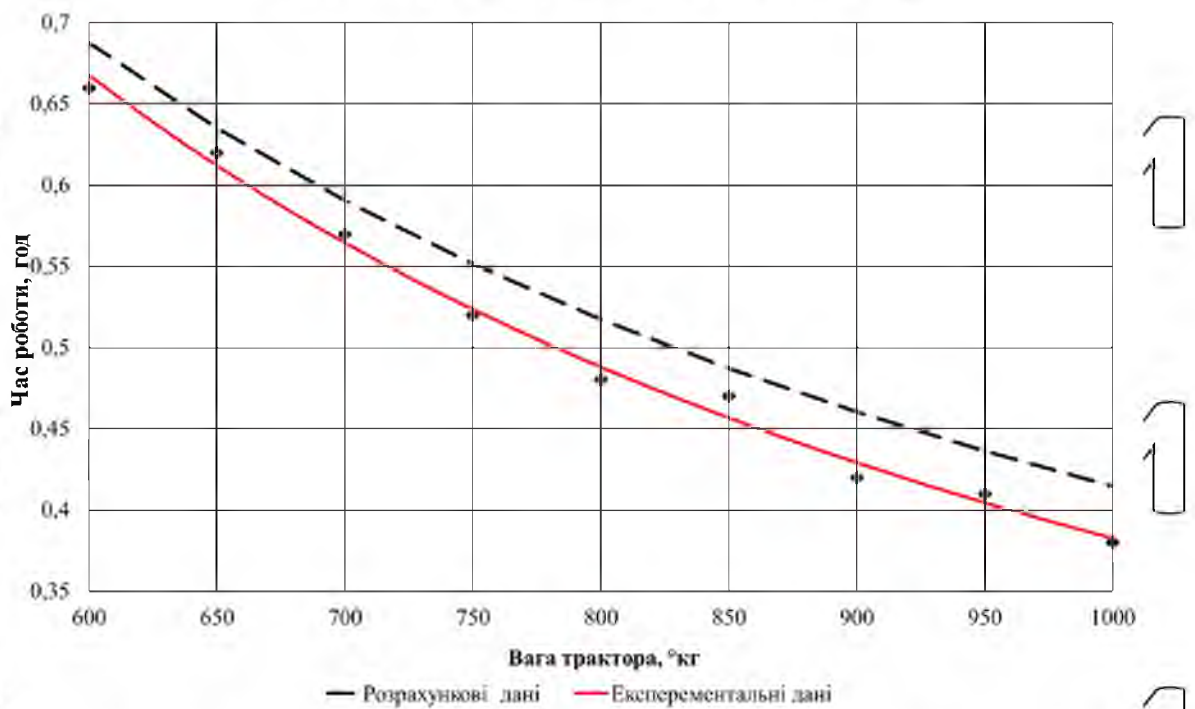
Г

Г у ш у у у к р а і н и

Т

Т

Залежність часу роботи від ваги трактора



НУ

НУ

НУ ШИ П У КРАЇНИ

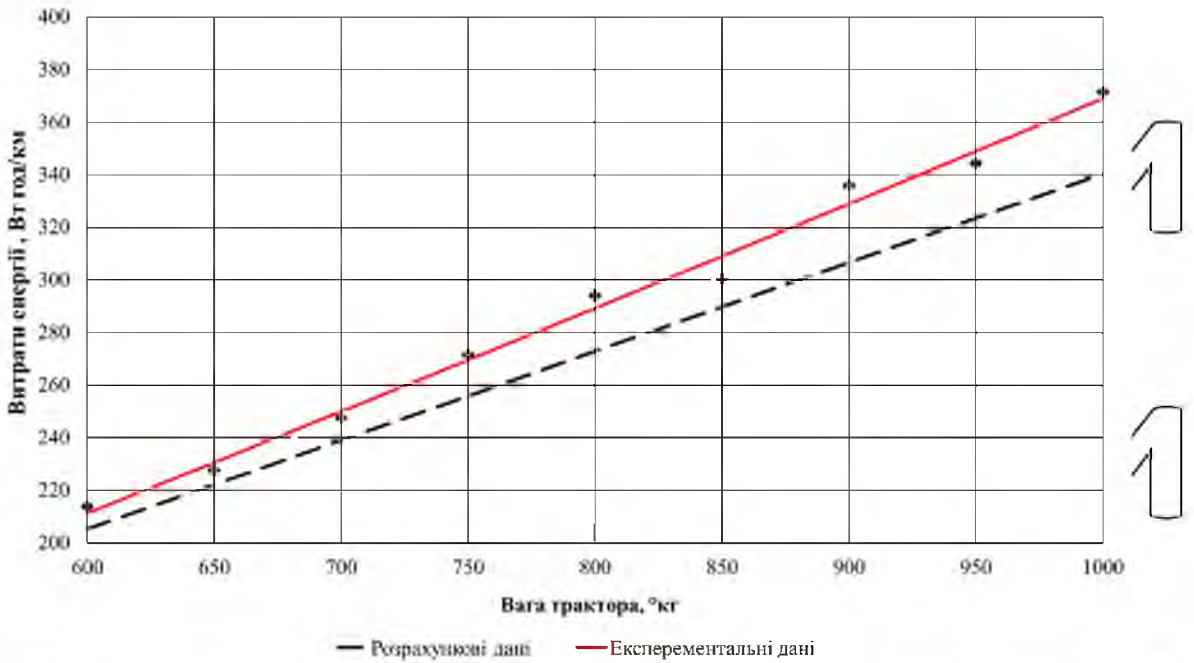
Витрати енергії на кілометр в залежності від ваги трактора

НУБІП України

НУБІП України

НУ

НУ

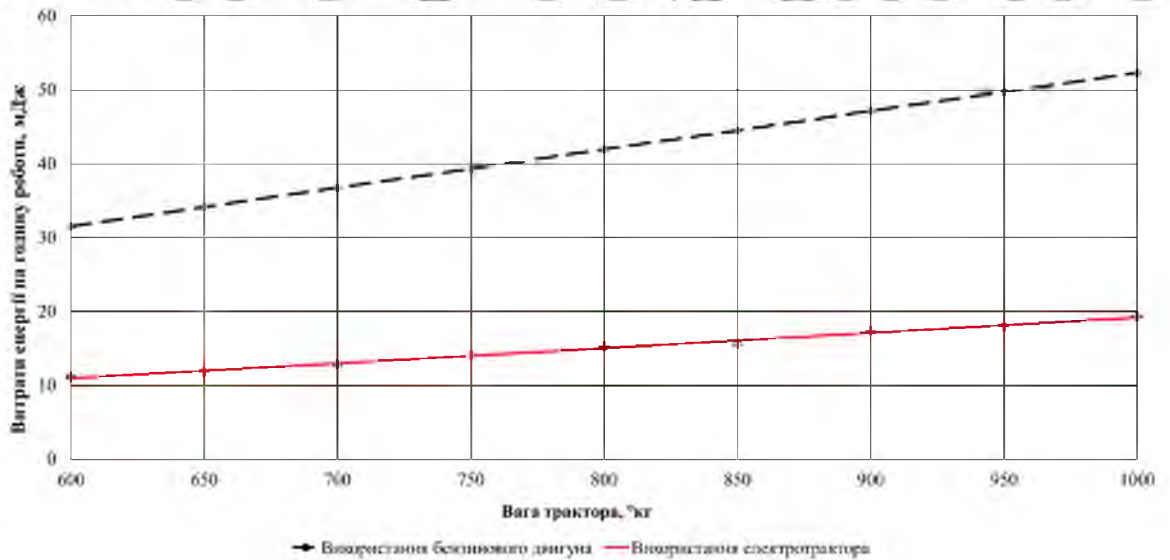


НУБІП І УКРАЇНИ

Витрати енергії бензинового двигуна і електричного в залежності від ваги трактора

НУ

НУ



НУБІП УКРАЇНИ

7. Охорона праці

Трактори зробили незмірний внесок у продуктивність ферм і допомогли фермерам прогодувати не тільки себе, а й сотні інших людей. Незважаючи на те, що сучасні трактори є найбезпечнішими з тих, що коли-небудь існували, вони, як

і раніше, є учасниками багатьох нещасних випадків на фермах. За минулі роки

виробники додали безліч засобів безпеки, як-от захист від перекидання, ремені безпеки, щитки відбору потужності (ВВП), ходові вогні, кабіни з обігрівом тощо.

Усі засоби безпеки у світі не замінять добре навченого оператора, який знає про потенційні небезпеки, пов'язані з керуванням сільськогосподарським трактором.

Перед використанням трактора:

Знайте трактор і як безпечно його використовувати. Регулярно переглядайте запобіжні заходи в керівництві оператора. Дотримуйтесь і виконуйте інструкції, що містяться на попереджувальних табличках, прикріплених до трактора.

Переконайтеся, що трактор обслуговується належним чином. Перевіряйте мастило, паливо і воду. Найкраще перевіряти рівень води в радіаторі, коли трактор холодний. Якщо ви повинні перевіряти його в гарячому стані, будьте гранично обережні.

Встановіть протектори коліс якомога ширше і правильно накачайте шини. Переконайтеся, що огорожі встановлені та працюють. Усуньте витіки в гідравлічній системі та підтягніть ослаблені фітинги. Зрівняйте гальма, щоб трактор не тягнуло в один бік. Переконайтеся, що всі водії компетентні та пристебнуті ременями безпеки, якщо трактори обладнані ROPS (захисними конструкціями від перекидання). Переконайтеся, що видимість з усіх боків хороша і всі вогні видні та працюють. Утримуйте знаки безпеки чистими та вільними від заважаючих матеріалів. Замініть пошкоджені або відсутні знаки безпеки новими.

ЗАПУСК ТРАКТОРА

Після попередньої перевірки трактора по колу пристебніть ремінь безпеки і відрегулюйте дзеркала. Ви готові до запуску трактора. Переконайтеся, що на шляху руху трактора немає перешкод. Ви можете запустити трактор і приступити до роботи, контролюючи роботу, особливо під час першого запуску.

УСУНЬТЕ БУДЬ-ЯКУ НЕСПРАВНІСТЬ ЯКОМОГО ШВИДШЕ, ЩОБ УНИКНУТИ ВТРАТИ ЧАСУ І НЕБЕЗПЕЧНИХ УМОВ РОБОТИ.

Усуньте будь-яку несправність якомога швидше, щоб уникнути втрати часу і небезпечних умов роботи. Якщо з якоїсь причини для запуску трактора потрібне підзаряджання акумулятора, переконайтеся, що використовується правильна техніка підзаряджання. За необхідності зверніться до керівництва оператора. Під час запуску трактора оператор повинен перебувати на тракторі. Ніколи не запускайте трактор в обхід.

ЗАБОРОНА НА ЇЗДИ НА ТРАКТОРІ

Не підпускайте маленьких дітей до тракторів. Трактори призначені для перевезення тільки однієї людини - водія. Щороку маленькі діти гинуть унаслідок падіння з трактора. Імовірність загибелі дітей так само велика, коли їм дозволяють кататися на причіпному обладнанні.

Перекидання

Трактори можуть дуже легко перекинутися. Усі трактори оснащені ROPS (захисними конструкціями від перекидання).

МІДНЯТІ ПРЕДМЕТИ, РОБОТА З ФРОНТАЛЬНИМ НАВАНТАЖУВАЧЕМ, РОБОТА НА КРУТОМУ СХИЛІ - Ось лише деякі з можливих причин перекидання.

Уникайте роботи поблизу канав, насипів і ям. Не наближайтеся до крутих схилів і знижуйте швидкість під час поворотів, перетину схилів, а також на нерівній, слизькій або брудній поверхні.

#

Якщо вам необхідно повернути на схилі, повертайте вниз по схилу. Навіть на найпологішому схилі рухайтесь прямо вниз, а не по діагоналі. Ніколи не рухайтесь накатом. Переключіться на нижчу передачу, щоб уникнути вільного ходу і надмірного гальмування. Будьте особливо обережні на схилах при перевезенні важких, високих, розгойдуваних або нестійких вантажів.

По можливості тримайте колеса широко розставленими. Трактор буде набагато легше перевернутися набік, якщо колеса розташовані близько один до одного. Коли колеса повинні бути розсунуті для вузьких рядів культур, дотримуйтесь підвищеної обережності, особливо під час руху дорогами на високій швидкості.

Знижуйте швидкість перед поворотом. Подвоєння швидкості сільськогосподарського трактора в чотири рази збільшує небезпеку перекидання набік. Якщо ви спробуєте повернути на високій швидкості, трактор намагатиметься їхати прямо, а не повертати.

Знижуйте швидкість при використанні навантажувача. Навантажувач у піднятому положенні може збільшити ймовірність перекидання. Тримайте навантажувач якомога ближче до землі. Будьте уважні до канав, каменів або ям, які можуть призвести до перекидання трактора. Якщо вантаж знаходиться занадто високо в повітрі, це впливає на центр ваги.

Зупиніть двигун, перш ніж зійти з трактора. Оператори можуть бути вбиті трактором, якщо трактор був залишений працюючим, а оператора не було на сидінні. Трактори випадково увімкнули передачу, коли оператор демонтував трактор. Трактори, залишені на нейтральній передачі без увімкненого стоянкового гальма, розчавили кілька людей.

ЗЧІПНІ ПРИСТРОЇ ТА ЗАГАЛЬНІ ЗАПОБІЖНІ ЗАХОДИ

Ніколи не причіпляйтеся до осі або іншої високої точки. Причіпляйте

буксирувані вантажі тільки до диска і на рекомендованій виробником висоті. У разі використання триточкового зчеплення додавайте передні вантажі в міру необхідності для підтримання стійкості та запобігання проблемам із кермовим керуванням.

Використовуйте належні запобіжні затискачі та штифти. Тримайте зчпні пристрої низько і завжди тримайте зчпний пристрій на диску. Це допоможе запобігти перевертання трактора назад. Повільно усувайте слабину і ніколи не смикайте ланцюги або троси; стежте за тим, щоб вільні ланцюги не звисали ні з диска, ні зі знаряддя. Вони можуть зачепитися за пень або камінь і потягнути трактор назад.

Зламані частини ланцюга можуть діяти як шрапнель, а трос, що обірвався, може відрізати ноги з-під ніг людини. Нейлонові троси вбивали трактористів і сторонніх людей, коли трос відривався від знаряддя.

Трактори також можуть перекинутися назад при штовханні, використанні фронтального навантажувача або при приєднанні до передньої частини ланцюгами або тросами, що проходять під задньою віссю. Тримайте зчпний пристрій якомога нижче, переважно 17 дюймів. Ніколи не піднімайтеся вище 21 дюйма.

Будьте гранично обережні під час руху під ухил. Трактор може перекинутися, якщо центр ваги зміститься за те місце, де задні колеса стикаються із землею. Намагайтеся рухатися заднім ходом, якщо це необхідно для підйому по схилу. Якщо ви застрягли на крутому схилі, повільно спускайтеся назад і злегка натисніть на гальма. Вага на передній частині трактора допоможе.

Відключайте коробку відбору потужності (ВВП), коли вона не використовується. Використовуйте щиток ВВП, коли обладнання використовується.

Ніколи не стрибайте з трактора, що рухається, і не повертайтеся спиною до трактора, коли двигун працює. Якщо трактор почне наїжджати на вас, ви не зможете його зупинити.

НУВІП України

Не надягайте вільний одяг під час роботи на тракторі. Вільний одяг може зачепитися за рухомі деталі і стати причиною нещасного випадку.

Під час спуску з пагорба тримайте трактор на передачі. Це дасть змогу двигуну трактора виконувати функцію гальма. Деякі трактори можуть мати "вільний хід" у приводі трансмісії. Переконайтеся, що трансмісія такого типу переведена в режим прямої передачі, перш ніж намагатися використовувати

НУВІП України

двигун як гальмо.

Вимикайте зчеплення плавно, особливо від час руху вгору. Старт "з місця" небезпечний як для оператора, так і для трактора.

НУВІП України

Ніколи не прикріплюйте стовп або колоду до задніх коліс, коли трактор застряг у багнюці. Якщо колеса не будуть вільно обертатися, трактор може повернутися навколо осі і зірватися. Спробуйте виїхати назад. Якщо це не допомагає, попросіть інший трактор витягнути вас. Переконайтеся, що трактор, який буксирує, має захист від перекидання і пристебнутий ременем безпеки.

НУВІП України

Оператор трактора повинен дотримуватися всіх правил дорожнього руху на відкритих дорогах. Це включає в себе правильне освітлення, сигнали руками, право на проїзд тощо.

НУВІП України

Не використовуйте трактор для роботи, для якої він не призначений. Трактор був розроблений як джерело енергії для виконання польових робіт. Він не призначений для перегону худоби, дрег-рейсингу або транспортування в місто і назад.

НУВІП України

НУВІП України

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ НАВІСНОГО

ОБЛАДНАННЯ ТРАКТОРА

Тримайте всі щити й огороження на місці. Не використовуйте обладнання з відсутніми щитками або захисними пристосуваннями.

Перед виконанням регулювань або технічного обслуговування вимкніть двигун і переконайтеся, що рух знаряддя зупинено.

Для деяких видів навісного обладнання використовуйте противагу для стійкості. Під час різких поворотів піднімайте заднє навісне обладнання і рухайтесь повільно. Піднімайте й опускайте навісне обладнання повільно й плавно.

НАВЧАННЯ НОВИХ ОПЕРАТОРІВ

Навчіть нових і недосвідчених операторів. Перед початком експлуатації трактора ознайомте їх з керівництвом оператора. Навчіть нового оператора розпізнавати небезпеки і знати, як їх уникнути. Вказуйте на особливі небезпеки на фермі. Не дозволяйте їм водити машину на дорогах загального користування у віці до 16 років. Рекомендується, щоб оператор мав водійські права для виїзду техніки на проїжджу частину.

Нехай новий оператор трактора потренується, не навішуючи обладнання, на рівному полі або великому рівному дворі. Інструктор має завести трактор, демонструючи процедуру новому оператору. Інструктор має проїхати на тракторі подвір'ям, показуючи учневі, як працюють усі органи управління. Можливо, інструктору доведеться перебувати на тракторі, поки учень керує ним. У цьому випадку необхідно дотримуватися особливої обережності. Інструктор може давати вказівки, поки учень керує трактором.

Після того, як новий оператор навчиться самостійно керувати трактором на рівному майданчику, наступним кроком буде навішування та управління

обладнанням. Новий оператор повинен поступово переходити до більш складних операцій з керування трактором.

НУБІП України

НУБІП України

ЗАХИСТ ТРАКТОРА ВІД ХІМІКАТІВ

Перш ніж увійти в кабіну, зніміть засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), що використовувалися під час роботи з хімікатами та їх змішування.

НУБІП України

Якщо кабіна належить до типу, який не захищає людину під час нанесення продукту, можливо, краще продовжувати носити ЗІЗ.

Ось інші рекомендації щодо захисту кабіни трактора від хімікатів:

НУБІП України

Перед входом у кабіну видаліть забруднений ґрунт і сміття з черевиків або чобіт.

Підтримуйте чистоту підлоги, підмітаючи або пилососючи. Протирайте обшивку кабіни або внутрішню частину кожуха.

НУБІП України

Очистіть зовнішню поверхню трактора, щоб зменшити вплив хімікатів.

Ніколи не беріться за кермове колесо в рукавичках, що були вдягнені під час роботи з хімікатами або їх змішування.

НУБІП України

Регулярно очищайте ручки керування та кермове колесо засобом або розчином для видалення жиру.

НЕДОЦІЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ

НУБІП України

Ніколи не використовуйте трактор для виконання завдань, для яких він не призначений. Трактори - це носії знарядь, транспортні одиниці та дистанційні джерела енергії.

Трактори не є транспортними засобами для відпочинку, евакуаторами або

автомобілями для виконання доручень

Ніколи не використовуйте трактор для різьби або пасіння худоби.

ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ

Після закінчення робочого дня припаркуйте сільськогосподарську техніку в безпечному місці.

Вимкніть ВВП, опустіть обладнання на землю, вимкніть двигун, переведіть коробку передач у нейтральне положення або в положення "паркінг", встановіть гальма і вийміть ключ із замка запалювання. Ніколи не залишайте машину на передачі.

БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВЕЛИКИХ ТРАКТОРІВ

Гігантські повнопривідні трактори сьогодні використовуються на багатьох фермах. Хоча більшість рекомендацій з безпеки застосовні як до великих, так і до малих тракторів, під час експлуатації надвеликих тракторів існують особливі вимоги до безпеки. Габарити трактора можуть викликати труднощі у вузьких місцях, на поворотах і воротах, а також на вузьких дорогах. Зазори над головою, особливо навколо ліній електропередач, можуть стати проблемою.

Унікальні системи рульового управління великих повнопривідних тракторів створюють нові проблеми з керуванням, особливо для водіїв-початківців. Рульове управління всіма колесами може змістити буксирований пристрій на несподівану тракторію. Шарнірне рульове управління змінює центр ваги тягача таким чином,

що в несподіваних умовах може статися переверт. При шарнірному керуванні

рух швидкісною дорогою вимагає більшої майстерності, ніж при звичайному керуванні трактором. Якщо оператор керує машиною з шарнірним рульовим

керуванням, коли вона стоїть на місці, стороння людина може опинитися в зоні

шарніра

На всіх нових тракторах є попередження, але оператор зобов'язаний переконатися в тому, що перед запуском або маневруванням машини всім усе зрозуміло.

8. Список використаної літератури

1) Electrification of a Compact Agricultural Tractor: A Successful Case Study від авторів Paolo Sartarelli та Alessandro Soldati

https://www.researchgate.net/publication/335073931/Electrification_of_a_Compact_Agricultural_Tractor_A_Successful_Case_Study

2) Case of Study of the Electrification of a Tractor: Electric Motor Performance Requirements and Design від авторів Diego Troncon та Luigi Alberti

https://www.researchgate.net/publication/341144808/Case_of_Study_of_the_Electrification_of_a_Tractor_Electric_Motor_Performance_Requirements_and_Design

3) AN INTRODUCTION TO ELECTRIC TRACTOR від автора Abdul Lateef Dar

https://www.researchgate.net/publication/360251850/AN_INTRODUCTION_TO_ELECTRIC_TRACTOR

4) Study on the Development of the Electric Tractor: Specifications and Traveling and Tilling Performance of a Prototype Electric Tractor від авторів Yuko Ueka, Jun Yamashita, Kazunobu Sato та Yoshinori Doi

https://www.researchgate.net/publication/362880927/Study_on_the_Development_of_the_Electric_Tractor_Specifications_and_Traveling_and_Tilling_Performance_of_a_Prototype_Electric_Tractor

5) <https://www.norgren.com/uk/en/expertise/industrial-automation/what-is-an-electric-actuator>

6) <https://www.fwi.co.uk/machinery/technology/machinery-milestones-electric-tractor-power>

7) Design of a Concept Electric Mini Tractor від авторів Amitabh Das; Yash Jain; Mohammed Rafiq B. Agrewale; Yogesh Krishnan Bhatshvar; Kamalkishore Vora

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9080834>

8) Control and Instrumentation for an Electric Farm Tractor від автора Dennis Helder

<https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5300&context=etd>

9) Case of Study of the Electrification of a Tractor: Electric Motor Performance Requirements and Design від авторів Diego Troncon та Luigi Alberti

https://www.researchgate.net/publication/341144808_Case_of_Study_of_the_Electrification_of_a_Tractor_Electric_Motor_Performance_Requirements_and_Design

10) www.decre.co.uk

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України