

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Інститут Електроенергетики
(інститут)
Електротехнічний факультет
(факультет)
Кафедра електропривода
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Світлич Віталій Ернестович

(ПІБ)

академічної групи ЕТФ -141-18ск-3

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

Спеціалізації Електропривод, мехатроніка та робототехніка

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему «Електромеханічна система приводу електромобіля з покращеними зчепними властивостями»

(назва за наказом ректора)

| Керівники | Прізвище, ініціали | Оцінка за шкалою | | Підпис |
|----------------------------------|--------------------|------------------|---------------|--------|
| | | рейтинговою | інституційною | |
| кваліфікаційної роботи | Азюковський О.О | | | |
| розділів: | | | | |
| Технологічна частина | Азюковський О.О | | | |
| Автоматизований електропривод | Азюковський О.О | | | |
| Охорона праці | Яворська О.О | | | |
| Техніко-економічне обґрунтування | Тимошенко Л.В. | | | |

| | | | | |
|-----------|--|--|--|--|
| Рецензент | | | | |
|-----------|--|--|--|--|

| | | | | |
|----------------|--|--|--|--|
| Нормоконтролер | | | | |
|----------------|--|--|--|--|

Дніпро 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

електропривода

(повна назва)

(підпис)

Казачковський М.М.

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студенту Світлич В.Е академічної групи ЕТФ -141-18ск-3

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ Електропривод, мехатроніка та робототехніка

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему «Електромеханічна система приводу електромобіля з покращеними зчепними властивостями»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.04.201 № 201-с

| Розділ | Зміст | Термін виконання |
|----------------------------------|-------|------------------|
| Технологічна частина | | |
| Автоматизований електропривод | | |
| Охорона праці | | |
| Техніко-економічне обґрунтування | | |

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Казачковський М.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

17.06.2021

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Світлич В.Е

(прізвище, ініціали)

Зміст

| | |
|---|----|
| Реферат | 4 |
| 1.Вступ Теорія руху автомобільного транспортного засобу | 6 |
| Переваги електромобіля:..... | 7 |
| Недоліки електромобіля:..... | 8 |
| Теорія руху автомобільного транспортного засобу | 11 |
| 1.1 Умови експлуатації автономного транспортного засобу..... | 11 |
| 1.2 Експлуатаційні властивості автомобіля..... | 12 |
| 1.3 Характеристика джерела енергії Особливості конструкції та принцип роботи | 20 |
| 1.4 Бічне відведення автомобільної шини | 26 |
| 2 Елементи електромеханічної системи | 41 |
| 2.1 Електричний двигун..... | 41 |
| 2.2 Силовий перетворювач | 43 |
| 2.3 Акумуляторна батарея | 45 |
| 3. Системи автоматичного керування | 47 |
| 3.2 Перехідні процеси | 53 |
| 4. Дослідження параметрів прослизання колеса при різних режимах обертання кругового універсального випробувального стенду дорожніх матеріалів | 55 |
| 5.Охорона Праці..... | 64 |
| 6.Економічна частина..... | 83 |
| Література..... | 86 |

Реферат

Пояснювальні записки ,87 сторінок, 51 рисунок 3 таблиці,9 джерел

В даній кваліфікаційні роботі було описано та розглянуто технічні характеристики електромобіля.

Мета роботи полягає у покращенні зчепних властивостей електромобіля з дорогою.

Розглянуто фактори що впливають на зчеплення шини автомобіля з дорожнім покриттям .

В економічній частині було розраховано вартість споживання електроенергії електромобіля

В Охороні праці було розглянуто умови ураження людини струмом при доторканні до струмопровідних частин електромереж

Abstract

Explanatory notes, 87 pages, 51 figure 3 tables, 9 sources

In this qualification work the technical characteristics of the electric car were described and considered.

The purpose of the work is to improve the coupling properties of the electric car with the road.

The factors influencing the traction of the car tire with the road surface are considered.

In the economic part, the cost of electricity consumption of the electric car was calculated

In Labor protection the conditions of electric shock of the person at contact to current-carrying parts of electric networks were considered

1.Вступ

Теорія руху автомобільного транспортного засобу

Електромобіль — автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів або паливних елементів тощо, а не двигуном внутрішнього згорання. Електромобіль слід відрізнити від автомобілів з двигуном внутрішнього згорання і електричною передачею і від тролейбусів. Підвидами електромобіля вважаються електрокар (транспортний засіб для перевезення вантажів на закритих територіях) і електробус (автобус з акумуляторною тягою). Термін електромобільність охоплює повністю електричні транспортні засоби, а також гібридні електричні транспортні засоби та автомобілі, які використовують технологію водневих паливних елементів. Станом на 2018 рік більшість розвинутих країн поставили за мету перейти на електромобілі. На червень 2017 в усьому світі було продано понад 2 млн електромобілів Nissan Leaf — найпродаваніший автомобіль із 300 000 проданих авто станом на січень 2018 року. Другий — Tesla Model S із 213 000 поданих авто на грудень 2017.

У 2020 році компанія Tesla Inc. другий рік підряд із великим відривом зайняла перше місце серед виробників електромобілів. Найпопулярнішою моделлю стала Tesla Model 3 (0,5 млн авто), яка зображена на малюнку нижче. Друге місце у Volkswagen із моделлю Volkswagen ID.3 і китайський BYD на третьому. Четверте місце у китайського авто Wuling Hongguang. Всього за рік було випущено 2,9 млн електромобілів, у 2021 році заплановано випустити 3,9 млн.



Tesla model S

Переваги електромобіля:

- Відсутність шкідливих викидів;
- Нижчі витрати на експлуатацію та технічне обслуговування автомобіля: не потрібна дорога коробка передач і мастила до неї, двигун вн.згоряння (в тому числі заміна масел, фільтрів, ремнів ГРМ) і його обслуговування, насосів високого тиску (якщо це диз.двигуни), паливних фільтрів, та ін.;
- Простота конструкції і управління, висока надійність та довговічність екіпажної частини (до 20—25 років) у порівнянні зі звичайним автомобілем;
- Тиха робота;
- Можливість підзарядки від побутової електричної мережі (від розетки), але такий спосіб в 5—10 разів довший (триває близько 6 годин), ніж від спеціального високовольтного зарядного пристрою;
- Електромобіль — єдиний варіант застосування на легковому автотранспорті енергії, що виробляється АЕС і електростанціями інших типів;

- Масове застосування електромобілів змогло б допомогти у вирішенні проблеми «енергетичного піку» за рахунок підзарядки акумуляторів в нічний час.
- Tesla Motors презентувала ефективний автомобіль: 4.2 сек до 100 км/год, пробіг без підзарядки 400 км на швидкості 110 км/год, потужність двигуна 300 кВт. Їх патенти відкриті для популяризації електрокарів.

Недоліки електромобіля:

- Акумулятор за півтора століття еволюції так і не досяг характеристик, що дають змогу електромобілю на рівних конкурувати з автомобілем за запасом ходу і ціною, не зважаючи на значне вдосконалення конструкції. Наявні високоенергоємні акумулятори або занадто дорогі через застосування дорогоцінних або дорогих металів (срібло, літій), або працюють при дуже високих температурах (робоча температура натрій-сірчаного акумулятора > 300 °C). Крім того, такі акумулятори відрізняються високим саморозрядом. Одним з перспективних напрямків стала розробка нікель-металгідридних акумуляторів з оптимальним співвідношенням енергоємності та собівартості, перспективними вважаються акумулятори на основі поліпропілену, проте, фактично через патентні обмеження на електромобілях, як і століття тому, застосовуються свинцево-кислотні АКБ. Втім, енергоємність таких АКБ збільшилася за ХХ століття в 4 рази (до 40—45 Вт • г/кг) і вони не вимагають обслуговування протягом усього терміну служби. Значно підвищити віддачу від акумуляторів дало змогу застосування електронних систем оперативного контролю за станом і зарядкою-розрядкою АКБ.
- Акумулятори добре працюють під час руху електромобіля на постійних швидкостях і під час плавних розгонів. У разі різких стартів тягові АКБ втрачають багато енергії. Для збільшення пробігу електромобіля необхідні спеціальні стартові системи, наприклад, на конденсаторах, а також застосування систем рекуперації енергії (економія до 25 %).

- Проблемою є виробництво та утилізація акумуляторів, які часто містять отруйні компоненти (наприклад, свинець або літій).
- Близько 10 % енергії втрачається в коробці передач та інших елементах трансмісії. Для вирішення цієї проблеми компанія Mitsubishi Motor розробила колесо з вбудованим електродвигуном (мотор-колесо), що дало змогу відмовитись від експлуатації коробки передач. Система отримала назву Mitsubishi In-wheel motor Electric Vehicle (MIEV). Аналогічне мотор-колесо розробила Toyota. Прототип автомобіля Toyota Fine-T може повертати колеса перпендикулярно осі автомобіля, що дозволяє значно спростити паркування.
- Частина енергії акумуляторів витрачається на охолодження або обігрів салону автомобіля, а також живлення інших бортових енергоспоживачів. Проте, обігрів салону може виконуватись за допомогою бензинової пічки (для цього встановлюється бак місткістю 3 л, а під переднім сидінням монтується обігрівальний пристрій). Робляться зусилля, щоб вирішити цю проблему з використанням паливних елементів, іонізаторів і фотоелементів.
- Для масового застосування електромобілів потрібне створення відповідної інфраструктури для підзарядки акумуляторів (зарядка на «автозарядних» станціях).
- У разі масового використання електромобілів у момент їх зарядки від побутової мережі зростають перевантаження електричних мереж «останньої милі», що загрожує зниженням якості енергопостачання, ризиком локальних аварій.
- Триваліший час заряджання акумуляторів в порівнянні з заправкою паливом. Проте, оскільки в найбільшій кількості випадків середній пробіг звичайного автомобіля у день становить близько 50 км, а найпростішого (навіть саморобного) електромобіля один заряд батарей достатній для пробігу мінімум 60 км, то тривала зарядка акумуляторних батарей (близько 6 годин) не створює

незручностей. Незручності від тривалої зарядки існують у разі поїздок на великі відстані.

- На щорічній сесії Німецького акустичного товариства, яка проводилася в Дармштадті, проблема генерованого електромобілем шуму, а точніше, майже повної його безшумності, викликала жваві дискусії, адже безшумність може стати фактором, який негативно впливатиме на безпеку дорожнього руху. В Японії прийнятий закон, який встановлює мінімальний рівень шуму для автомобілів з електроприводом. Прийняття аналогічних нормативно-правових документів планується також в Європі та у США.

«Автомобіль», як визначення приладу, з'явилося в кінці 90-х років XIX століття і походить від грецького autos – сам і латинського mobilis – рухається та означає самохідну машину з двигуном, на якій перевозять вантажі, пасажирів і спеціальне устаткування.

Також, більш загальне, автомобіль – це транспортний засіб, який призначений для пересування людей й вантажів по поверхні землі. Рух автомобіля здійснюється за допомогою власного джерела живлення енергією (двигун внутрішнього згорання, електродвигун, гібридна система живлення) й механізмів, які забезпечують керівну взаємодію з опорною поверхнею дороги чи ґрунта.

Найбільшу роль у процвітанні держави відіграє транспорт. Цей фактор підтверджується висловом англійського філософа-матеріаліста Ф. Бекона: «Три чинники роблять державу багатою і процвітаючою: родюча земля, розвинена промисловість і легкість переміщення людей і товарів».

Серед існуючих видів транспортних засобів (автомобільного, залізничного, водного, повітряного, трубопровідного) особливе місце посідає автомобільний. Особливостями автомобільного транспорту є те, що він може існувати самотійно і рухатися, як по дорогах, так і по бездоріжжю. Жодний з перерахованих видів транспорту цими властивостями не володіє.

Теорія руху автомобільного транспортного засобу

1.1 Умови експлуатації автономного транспортного засобу

Умови експлуатації – це незалежні чинники, що визначають конструктивні особливості, механіку та транспортні властивості АТЗ.

Їх розділяють на п'ять груп:

1. соціально-економічні;
2. природно-кліматичні;
3. екологічні
4. дорожні;
5. транспортні.

Соціально-економічні умови визначаються соціальною і природно-господарською значимістю, вартістю перевезень і технічної експлуатації АТЗ. Ці чинники впливають на необхідність створення альтернативних конструктивних систем автомобіля.

Природно-кліматичні умови - це температура, вологість, висота над рівнем моря, агресивність середовища тощо. Вони вимагають пристосовування транспортного засобу до регіону, створення з особливими властивостями, що забезпечують можливість роботи автомобілів за цих специфічних умов.

Екологічні чинники включають допустимі рівні забруднення повітря і навколишнього середовища, шуму, впливу на дорогу і ґрунт.

Група транспортних умов характеризує механічні, фізичні, геометричні характеристики об'єктів, що транспортуються, дальність маршрутів, спосіб завантаження, режим транспортних робіт, умови технічного обслуговування та ін. Вплив цих чинників на ефективність автомобіля істотний.

Група дорожніх умов характеризує параметри опорної поверхні та місцевості, міцність мостів, стан доріг, інтенсивність, організацію і безпеку руху

1.2 Експлуатаційні властивості автомобіля

Для оцінювання якості автомобіля Є.О. Чудаков запропонував уперше 13 критеріїв: динамічність, економічність, надійність, прохідність, стійкість, легкість керування, м'якість ходу, простота обслуговування, місткість заправки, запас ходу, використання габаритних розмірів, маневреність, використання маси. Нині оцінювання якості автомобіля проводять зазвичай лише за вісьмома експлуатаційними властивостями, що подано в таблиця 1.

Таблиця 1 - Експлуатаційні властивості якості АТЗ

| <i>Експлуатаційні властивості АТЗ</i> | <i>Що забезпечують</i> | <i>Чим характеризуються</i> |
|--|---|--|
| <i>1. Тягово-швидкісні властивості</i> | <i>Вантажопідйомність, швидкість руху, прискорення</i> | <i>Масою вантажу m_B, що перевозиться, кількістю пасажирів z, максимальною швидкістю руху v_{\max}, часом і шляхом розгону до v_{\max}</i> |
| <i>2. Паливна економічність</i> | <i>Економію палива</i> | <i>Шляховими витратами палива в л/100 км</i> |
| <i>3. Гальмівні властивості</i> | <i>Максимальне уповільнення та утримання автомобіля на уклоні</i> | <i>Гальмівним шляхом, величиною уклону</i> |
| <i>4. Керованість</i> | <i>Властивість змінювати траєкторію руху автомобіля при дії водія на кермове колесо</i> | <i>Зусиллям на кермовому колесі при повороті керованих коліс на місці та при русі, стабілізацією керованих коліс</i> |
| <i>5. Стійкість</i> | <i>Властивість зберігати заданий напрямок руху при знятому зусиллі з кермового колеса</i> | <i>Стійкістю керованих коліс проти коливань</i> |
| <i>6. Маневреність</i> | <i>Можливість роботи на обмежених майданчиках</i> | <i>Мінімальним радіусом повороту R_{\min}</i> |
| <i>7. Всюдихідність</i> | <i>Можливість рухатися у важких дорожніх умовах і долати перешкоди</i> | <i>Критеріями опорної та профільної прохідності автомобіля</i> |

| | | |
|-------------------|---|--|
| 8. Плавність руху | Комфортабельність руху для водія і пасажирів, збереження вантажів | Частотою власних коливань підвіски, середньоквадратичними значеннями швидкостей і прискорень, відсутністю пробоя підвіски, стабільністю контакту коліс з опорною поверхнею |
|-------------------|---|--|

Зазначимо, що вищенаведені експлуатаційні властивості автомобіля пов'язані безпосередньо з його рухом.

Але задля організації математичної моделі автомобіля необхідно теоретичне обґрунтування його роботи. Так, припустимо, що автомобіль - це матеріальна точка, яка пересувається по криволінійній ділянці шляху, як показано на рисунку (рисунок 1.1).

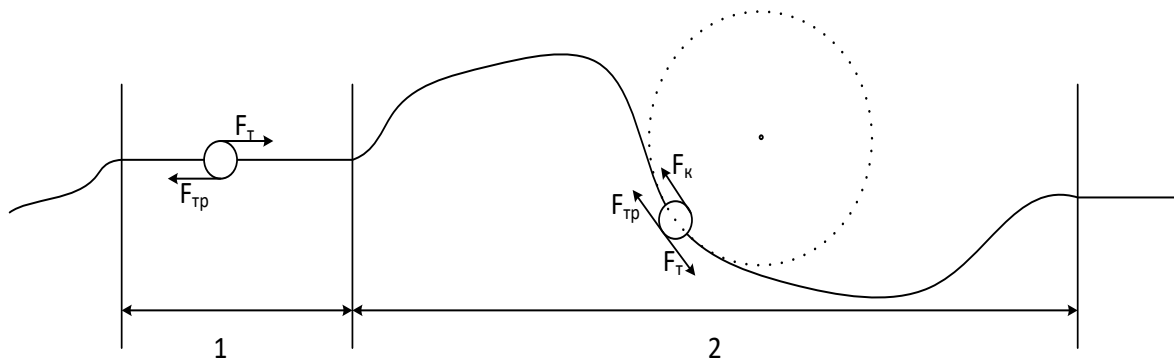


Рисунок 1.1– Представлення автомобіля, як матеріальної точки

Де F_m - сила тяги ($F_m = m \cdot a$, де m - маса об'єкта, a - прискорення об'єкта), F_{mp} - сила тертя ($F_{mp} = \mu \cdot F_N$, де μ - коефіцієнт ковзання, F_N - нормальна сила, що діє на тіло), F_k - сила Коріоліса, що діє на тіло на криволінійній ділянці колії ($F_k = 2 \cdot m \cdot v \cdot \omega$, де m - маса об'єкта, v - лінійна швидкість об'єкта, ω - кутова швидкість об'єкта).

На рисунку відображено дві ділянки шляху (рисунок 1.1): відносно прямолінійна ділянка 1 і криволінійну ділянку 2. На прямолінійній ділянці на тіло діє три сили. А саме, сила тяжіння, сила тертя і сила тяги. На криволінійній ділянці на тіло діє

шість сил: сила тяжіння, сила тертя, сила тяги, а також відцентрова сила, доцентрова сила і сила коріолісової інерції.

При русі на колісний транспортний засіб діють зовнішні й внутрішні сили. Зовнішніми, стосовно колісної машини, є сили, що діють з боку навколишнього середовища, тобто дороги і повітря. Ці сили можна поділити на активні і пасивні. Перші можуть бути або рушійними силами, або силами опору руху в залежності від того, роблять вони корисну роботу або роботу опору. Пасивні сили - сила тяжіння і нормальні реакції - безпосередньо роботи не здійснюють, але мають вплив на показники руху колісної машини.

Рушійними є сили тяги і крутний моменти, якщо напрямок останніх збігається з напрямком кутової швидкості коліс.

До сил опору руху відносяться сила опору повітря, сила опору підйому (скочуюча сила). Користуючись принципом Даламбера, до числа зовнішніх сил можна віднести силу інерції маси машини, що поступально рухається. Для зручності аналізу доцільно опір тангенціальних реакцій коліс замінити їх складовими: реакціями, рівними повним окружним силам коліс, але і силам опору коченню. Перші з них будемо вважати рушійними силами, а друга - силами опору.

За аналогією з поняттям повної окружної сили колеса можна встановити поняття про повну окружну силу колісного рушія або машини, яка є величиною умовною:

$$P_{mo} = \sum_{i=1}^{2p} P_{uoi}$$

де p - число провідних осей машини.

Внутрішні сили і моменти колісної машини - це сили (моменти) взаємодії між деталями самої машини. Рушійним є крутний момент двигуна.

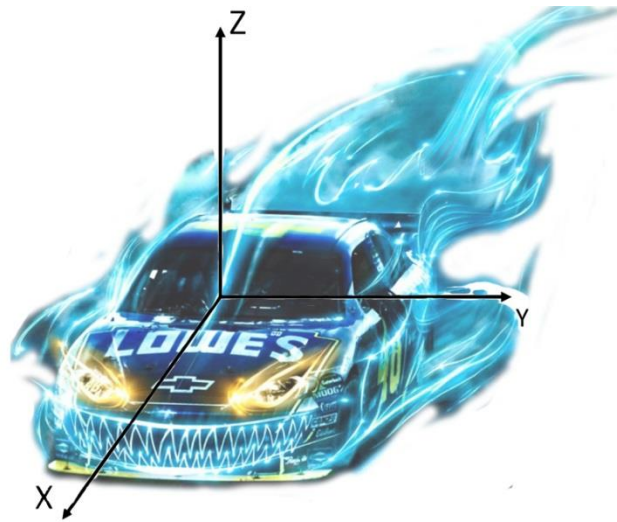


Рисунок 1.2 – Координатні осі при дослідженні транспортного колісного засобу

Так, прямолінійним будемо називати такий рух колісної машини, при якому у вертикальній поздовжній площині симетрії xOy машини, що проходить через середину колії (рисунок 1.2), основне переміщення відбувається в напрямку осі x , а додаткове (при коливаннях на нерівностях дороги) – у напрямку осі z . Рухи в поперечній площині, за винятком обертання валів двигуна і трансмісії, відсутні. Залежно від прикладеного до колеса моменту розрізняють: колесо, яке ведуть ($M = 0$), яке веде ($M = M_k$ – крутний момент) і гальмівне ($M = M_z$ – гальмівний момент). Розглянемо рівняння потужностей і сил, прикладених до кожного з цих коліс.

Колесо, яке ведуть

На колесо, яке ведуть, діють навантаження G_k і штовхальна сила $P_{шт}$, прикладена в центрі колеса. З боку опорної поверхні буде діяти нормальна реакція R_z , момент опору коченню M_f і сила опору коченню P_f , направлена протилежно до вектора швидкості v (рисунок 1.2).

Якщо колесо буде рухатися з прискоренням, тоді додатково виникне інерційний момент:

$$M_{jk} = J_k \frac{d\omega_k}{dt},$$

де J_{κ} – момент інерції колеса відносно вісі обертання; $\frac{d\omega_{\kappa}}{dt}$ – кутове прискорення колеса.

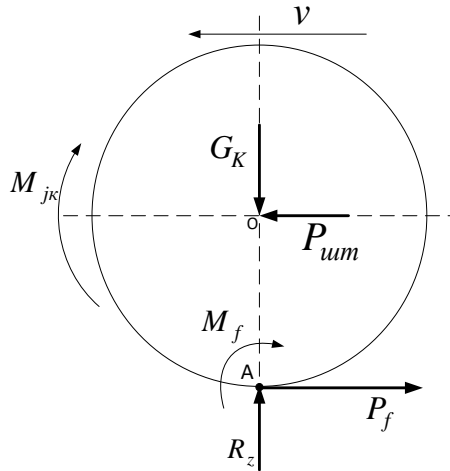


Рисунок 1.3 – Колесо, яке ведуть

Складемо рівняння потужностей, вважаючи, що потужність, яка підводиться до колеса, витрачається на подолання опору коченню і розгін колеса. Тоді:

$$N_{ум} = N_f + N_{jk},$$

де $N_{ум}$ – потужність, створювана силою поштовху $P_{ум}$, дорівнює:

$$N_{ум} = Pv;$$

N_f – потужність опору коченню визначимо за виразом:

$$N_f = fG_{\kappa}v = P_f v;$$

N_{jk} – потужність, яка викликана інерційним моментом, визначимо за формулою:

$$N_j = M_{jk}w_k = J_{\kappa} \frac{dw_k}{dt} w_k,$$

де w_k – кутова швидкість обертання колеса.

Підставивши отримані вирази до рівняння, отримаємо:

$$P_{ум}V = P_f v + J_{\kappa} \frac{d\omega_{\kappa}}{dt} \omega_{\kappa}$$

Якщо праву і ліву частини рівняння розділити на v , враховуючи, що $v = w_k r_k$, тоді отримаємо рівняння сил, діючих на колесо, яке ведуть:

$$P_{ум} = P_f + \frac{J_{\kappa}}{r_{\kappa}} \frac{d\omega_{\kappa}}{dt}.$$

При рівномірному русі колеса це рівняння запишеться так: $P_{um} = P_f$.

Колесо, що веде

Розрахункову схему сил, діючих на колесо, що веде, наведено на рисунку (рисунок 1.3). На колесо діють крутний момент M_K , який підводиться до нього від двигуна через трансмісію, навантаження на колесо G_K і тягова сила P_m , прикладені в центрі колеса. Крутний момент M_K , підведений до колеса, викликає тангенціальну реакцію опорної поверхні, напрямлену за вектором швидкості v , яку називають коловою силою P_κ . Її визначимо так:

$$P_\kappa = M_K / r_\kappa,$$

де r_κ – радіус колеса.

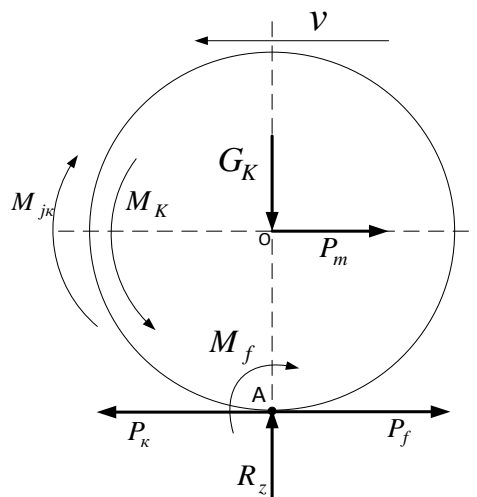


Рисунок 1.4 - Колесо, що веде

З боку опорної поверхні діють рівнодіюча нормальних реакцій R_z , сила опору коченню P_f і момент опору коченню M_f . При прискореному русі виникає додатково інерційний момент M_{jk} .

Складемо рівняння потужностей, враховуючи, що вона підводиться до колеса через крутний момент та кутову швидкість та витрачається на подолання опору коченню колеса, створення тягової сили і розгін колеса:

$$N_k = N_f + N_m + N_{jk},$$

де N_k – потужність, що підводиться до колеса, дорівнює $N_k = M_k \omega_k$; N_m – тягова потужність, яка дорівнює $N_m = P_m v$; потужності $N_f = P_f v$ і $N_j = J_k \frac{d\omega_k}{dt} \omega_k$, що виходить з вищенаведеного.

Після підстановки цих значень і розділивши це рівняння на швидкість v , отримаємо рівняння сил, що діють на колесо, що веде:

$$P_k = P_f + P_m + \frac{J_k}{r_k} \frac{d\omega_k}{dt} v$$

Якщо рух колеса рівномірний, тоді рівняння набуде вигляду:

$$P_k = P_f + P_m$$

З рівняння визначимо тягову силу:

$$P_m = P_k - P_f$$

З аналізу рівняння випливає, що тягова сила залежить від властивостей опорної поверхні та завжди менша за колову силу, яка створюється крутним моментом двигуна.

З аналізу рисунка (рисунок 1.4) видно, що колова сила P_k і сила опору коченню P_f мають протилежні напрямки. Їх результуюча в точці А контакту колеса з дорогою $P_k - P_f$ буде обмежена силою зчеплення колеса з дорогою, яка дорівнює $\varphi \cdot R_z$ (φ - коефіцієнт зчеплення шини з опорною поверхнею). Отже, максимальне значення тягової сили обмежене зчіпними можливостями колеса з опорною поверхнею і визначається за формулою:

$$P_{m \max} = \varphi \cdot R_z.$$

Тоді максимальна колова сила, що створюється крутним моментом двигуна та обмежена зчіпними можливостями шини з опорною поверхнею, запишеться:

$$P_{k \max} = P_f + P_{m \max} = (\varphi + f) R_z.$$

Гальмівне колесо

Розрахункову схему сил, діючих на гальмівне колесо, наведено на рисунку (рисунок 1.4).

На гальмівне колесо діє гальмівний момент M_z , який викликає тангенціальні реакції опорної поверхні. Рівнодіючу цих реакцій прийнято називати гальмівною силою, яка дорівнює:

$$P_z = \frac{M_z}{r_k} .$$

Інерційний момент M_{jk} у цьому випадку буде діяти за напрямком руху колеса вперед, а сила поштовху P_{um} збоку автомобіля буде напрямлена за вектором швидкості v .

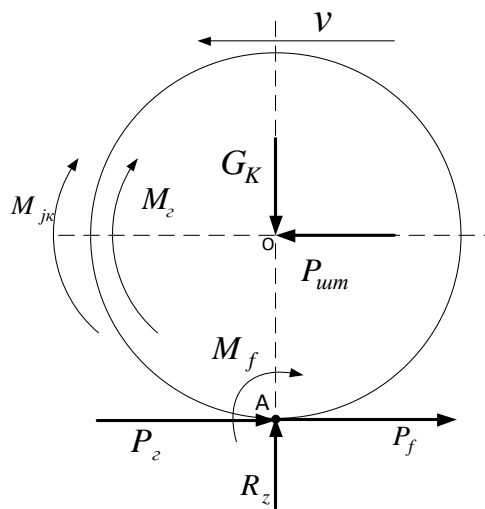


Рисунок 1.5 – Гальмівне колесо

З урахуванням напрямку сил рівняння потужностей, діючих на гальмівне колесо, запишеться:

$$N_z + N_f = N_{um} + N_{jk} ,$$

де N_z – потужність, створювана гальмівним моментом, яка визначається за формулою:

$$N_z = M_z \omega_k = M_z \omega_k \frac{r_k}{r_k} = P_z v ;$$

N_{um} – потужність, що зумовлена силою поштовху, прикладеною до центра колеса: $N_{um} = P_{um} v ;$

N_{jk} – потужність, що зумовлена інерційним моментом колеса, визначимо:

$$N_{jk} = J_k \frac{dw_k}{dt} w_k.$$

Після підставлення цих значень до рівняння і діленням на швидкість v його правої та лівої частин, отримаємо рівняння сил, діючих на гальмівне колесо:

$$P_e + P_f = P_{um} + \frac{J_k}{r_k} \frac{dw_k}{dt}.$$

1.3 Характеристика джерела енергії

Особливості конструкції та принцип роботи

В основі дії будь-якого електродвигуна закладений принцип електромагнітної індукції. Основне призначення електродвигуна полягає в перетворенні електричної енергії в механічну. Таке перетворення здійснюється за допомогою взаємодії двох головних частин електромотора - статора (нерухомої частини) і ротора (рухома частина). Після подачі живлення утворюється в статорі магнітне поле впливає на ротор, в результаті чого останній починає обертатися, звідки і створюється крутний момент.

Різновиди і класифікація

Існує досить багато різних електродвигунів, що відрізняються по конструкції, принципу дії, характеристикам. Всі їх можна класифікувати наступним чином:

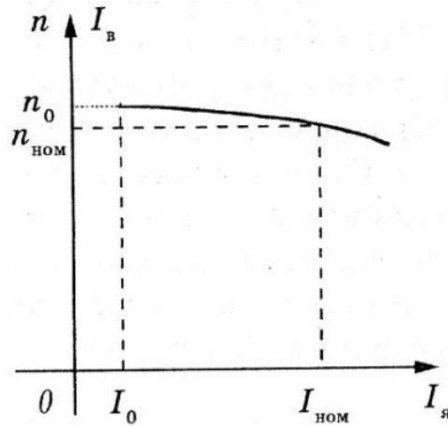
Двигун постійного струму (ДПТ):

1. колекторний (наявність щітково-колекторного вузла):

- з постійними магнітами;
- з послідовним збудженням (послідовна обмотка статора);
- з паралельним збудженням (обмотка статора і якоря з'єднується паралельно);
- з незалежним збудженням (обмотка статора харчується з незалежного джерела струму);
- зі змішаним збудженням (використовується паралельне і змішане підключення).

2. безколекторний або без щітковий

На рисунку нижче зображена швидкісна характеристика ДПТ:



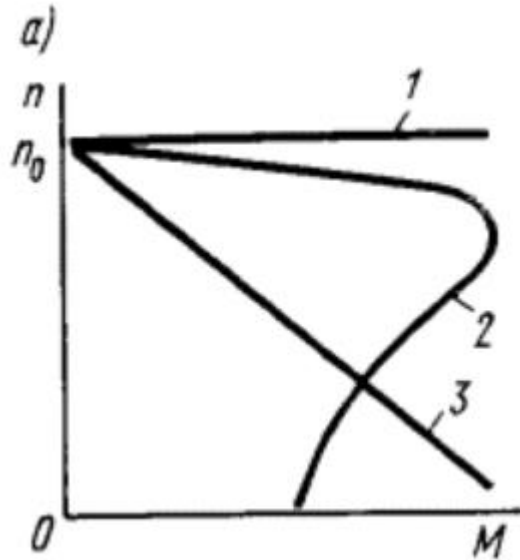
Двигун змінного струму:

1. синхронний (ротор і статор обертаються синхронно);
2. асинхронний (ротор і статор обертаються асинхронно):
 - однофазний
 - двофазний
 - трифазний
 - багатофазний

3. універсальний

Двигун постійного струму для електромобіля - перший і самий бюджетний варіант електродвигуна. При цьому, як правило, використовується безколекторний двигун для електромобіля. Більш сучасні і дорогі - асинхронні двигуни.

На рисунку нижче зображені характеристики двигуна:



Пряма 1 -абсолютно жорстка

Пряма 2 – жорстка

Пряма 3- м'яка

Розглянемо рух автомобіля без урахування зовнішнього ковзання ведучих коліс

Зовнішнє ковзання практично відсутнє за умови $M_{к.з.} \leq (0,4 - 0,6)M_{к.эф.}$. Ця умова виконується при русі автомобіля на проміжних і вищих передачах по дорозі з твердим покриттям.

Складемо загальне рівняння динаміки, застосувавши принцип Лагранжа-Деламбера. Введемо наступні можливі переміщення системи: лінійне переміщення центру мас автомобіля $\delta \bar{x}$, кутові переміщення веденого колеса $\delta \bar{\phi}_1$ і ведучого $\delta \bar{\phi}_1$.

Враховуючи взаємні напрямки сил і моментів і відповідних їм векторів можливих переміщень, одержимо загальне рівняння динаміки:

$$M_{к.з.} \delta \varphi_2 - M_{f1} \delta \varphi_1 - M_{f2} \delta \varphi_2 - F_h \delta x - F_u \delta x - F_{np} \delta x - F_{jn} \delta x - M_{jk1} \delta \varphi_1 - M_{jk2} \delta \varphi_2 = 0$$

Встановимо співвідношення між можливими переміщеннями $\delta \varphi_1$, $\delta \varphi_2$ та δx за умови відсутності зовнішнього ковзання коліс:

$$\delta\varphi_1 = \delta x / r_{k0};$$

$$\delta\varphi_2 = \delta x / r_k.$$

Після розкриття і перетворення отримуємо, що

$$\frac{M_e(1-k_{e.o.})u_{mp}\eta_{mp}}{r_k} - m_a g(f_a \cos \alpha + \sin \alpha) - F_{uu} - \left(m_a + \frac{J_{\delta} u_{mp}^2 \eta_{mp} + J_{mp}}{r_k^2} + \frac{J_{к.н.}}{r_{k0}^2} + \frac{J_{к.в.}}{r_k^2}\right) \frac{dv}{dt} = 0$$

де $J_{к.н.}$, $J_{к.в.}$ - сумарні моменти інерції відповідно всіх ведених і ведучих коліс .

Об'єднаємо всі члени цього виразу, що містять прискорення автомобіля $\frac{dv}{dt}$, і

позначимо отриманий вираз через F_{ja} . Сила F_{ja} являє собою наведену силу інерції автомобіля, прикладену в центрі мас і еквівалентну силам інерції і інерційним моментам всіх механізмів автомобіля при несталому прямолінійному русі. Введемо величини приведенної маси автомобіля $m_{a.np.}$ і коефіцієнт приведенної маси $\delta_{н.м.}$.

Нехтуючи швидкістю вітрового потоку, отримаємо диференціальне рівняння руху автомобіля на прямолінійній ділянці дороги

$$\delta_{н.м.} m_a \frac{dv}{dt} = \frac{M_e(1-k_{e.o.})u_{mp}\eta_{mp}}{r_k} - m_a g \psi - k_w A v^2$$

Однак, при русі автомобіль практично увесь час рухається за криволінійною траєкторією. Це обумовлено не тільки криволінійністю дороги, але й умовами руху: повороти з однієї дороги на іншу; об'їзди перешкод; зміна напрямку руху під впливом зовнішніх сил.

При вивченні кінематики криволінійного руху крім траєкторії центру мас розглядаються руху поздовжньої і вертикальної осей автомобіля, що проходять через його центр мас. Якщо при моделюванні параметри підвіски не враховуються, тобто поздовжніми і бічними нахилами підресореною маси нехтують, то досить розглядати лише обертання поздовжньої осі автомобіля відносно площини опорної поверхні дороги.

Розглянемо процес повороту задньопривідного і передньопривідного двовісних автомобілів з передніми керованими колесами. Прийmemo наступні допущення:

- Поворот здійснюється з малою постійною швидкістю на горизонтальній площадці з твердим покриттям
- Відцентрова сила невелика і нею можна знехтувати
- Колеса в бічному напрямку абсолютно жорсткі
- Бічне ковзання коліс відсутня

Розглянемо рух задньопривідного автомобіля при русі на криволінійній ділянці

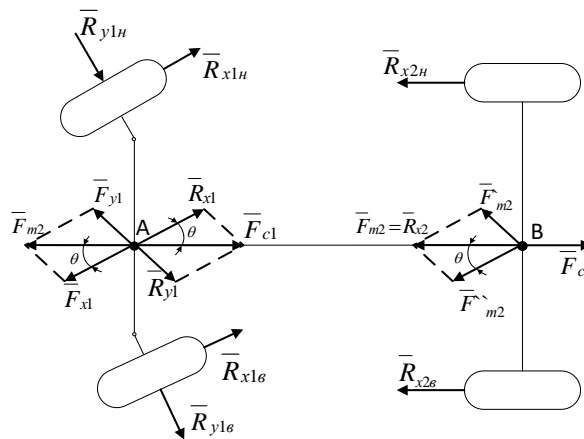


Рисунок 1.6 – Сили, що діють на задньопривідний транспортний засіб при криволінійному русі

Якщо встановити співвідношення між необхідним штовхаючим зусиллям переднього моста \bar{F}_{m2} і моментом опору коченню коліс цього мосту M_n

$$\bar{F}_{m2} = \frac{M_n}{r_n \cos \theta}$$

Очевидно, що при збільшенні кута повороту коліс необхідне зусилля, яке штовхає, зростає. Це пропорційно збільшенню опору коченню керованих коліс.

На рисунку (рисунок 1.6) показана схема повороту передньопривідного автомобіля. Розкладемо силу тяги передніх коліс \bar{F}_{m1} на складові: \bar{F}_{m1}^{\wedge} , спрямовану вздовж поздовжньої осі автомобіля, і $\bar{F}_{m1}^{\wedge\wedge}$, перпендикулярну силі \bar{F}_{m1}^{\wedge} . Сила \bar{F}_{m1}^{\wedge} врівноважує сумарну поздовжню реакцію дороги на задні колеса \bar{R}_{x2} . Докладемо до точки В дві взаємноврівноважуючі сили \bar{F}_{y2}^{\wedge} і $\bar{F}_{y2}^{\wedge\wedge}$, які перпендикулярні поздовжньої осі автомобіля. Модулі цих сил прийемо рівними

модулю сили \bar{F}'_{m1} . Тоді сили \bar{F}'_{m1} і \bar{F}'_{y2} утворюють пару, яка створює момент, який повертає, $M_n = F'_{m1}L = F_{m1}L \sin \theta$.

Таким чином, у передньопривідного автомобіля момент, що повертає автомобіль, створюється не поперечною реакцією дороги на керовані колеса, як це має місце у задньопривідного автомобіля, а силою тяги передніх ведучих коліс, обумовленою підводиться до коліс від двигуна через трансмісію моментом $M_{к.в.}$.

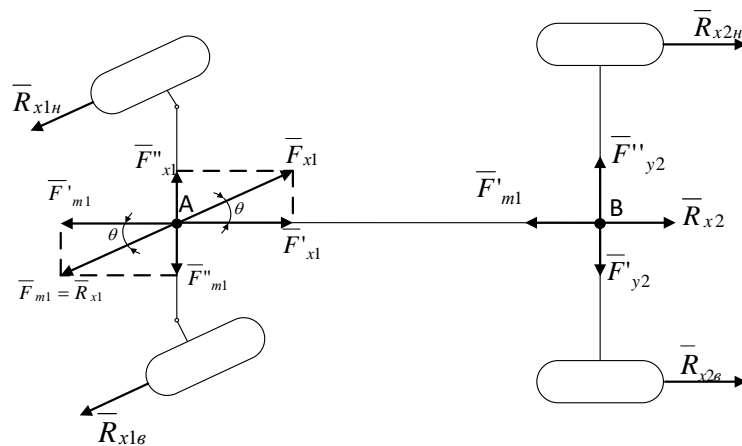


Рисунок 1.7 – Зовнішні і внутрішні сили, що діють при криволінійному русі для передньопривідного транспортного засобу.

Отже, момент, що повертає, в цьому випадку буде створюватися завжди і керовані колеса будуть рухатися в напрямку векторів поздовжніх реакцій $\bar{R}_{x1\sigma}$ і $\bar{R}_{x1\mu}$, а точка А - у напрямку вектора \bar{F}'_{m1} . Цим пояснюється краща керованість передньопривідних автомобілів порівняно з задньопривідними, особливо на слизьких дорогах і на м'яких ґрунтах.

Перевага задньопривідного автомобіля перед передньопривідним полягає в тому, що вібрації мотора і коробки передач, підвішених до кузова на досить м'яких і пружних елементах, практично не передаються, що підвищує комфортність в автомобілі. Також на кермо не передається ніяких реактивних моментів при розгоні. При різкому старті вага перерозподіляється назад, і ведучі колеса менше буксують, що обумовлено кращим розподілом навантаження на осі, так як кожна вісь виконує свою роботу: передня - повертає, а задня - штовхає.

Але, поряд з вище переліченими перевагами, задньопривідному автомобілю важче долати глибокий сніг або бруд, він дорожчий у виробництві, ніж передньопривідний, так як необхідно проектувати тунель посередині кузова, що збільшує масу автомобіля.

1.4 Бічне відведення автомобільної шини

У цьому розділі викладаються основні положення теорії стійкості автомобіля. При побудові цієї теорії з уявлення про значну пружність автомобільної шини в напрямку, перпендикулярному площині колеса. Якщо на рухомий автомобіль діють бічні сили, тобто, Горизонтальні сили, перпендикулярні його поздовжньої осі, шини деформуються, і при коченні колесо переміщається не в своїй площині, а під якимось кутом до неї-кутом відведення. Наявність відведення принципово змінює характер руху автомобіля, його траєкторії, швидкості і прискорення. При відсутності відведення напрямоку переміщення колеса збігається з його площиною, Якщо немає бічного ковзання; тому, якщо заданий закон повороту керованих коліс і швидкість автомобіля, то рух цим кінематично цілком визначено і можна легко обчислити відповідну траєкторію.

У реальних умовах, при наявності відведення, напрямок переміщення колеса залежить від діючих на нього сил. Отже, для визначення траєкторії, так само як і швидкостей і прискорень, необхідно вирішити відповідні диференціальні рівняння руху. Як показують експерименти, кути відведення невеликі і в звичайних умовах руху автомобіля по прямій і на повороті не перевищують 5-10°. Однак кути повороту управління коліс (якщо не розглядати малих швидкостей автомобіля, не представляють інтересу при дослідженні стійкості) Також не перевищують 10-15°. Тому зміна траєкторії в наслідок відведення може бути досить значною .

Явище відведення надає на стійкість автомобіля дуже істотний вплив, так як колесо з пружною шиною в протилежності колесу з жорсткою шиною не може сприйняти ніякого бічного зусилля без зміни напрямку руху колеса. У цьому

відмінність реального автомобіля від автомобіля 3 с шинами, абсолютно жорсткими в бічному напрямку.

Автомобільне колесо завдяки значній пружності шини схильне бічному відведенню, іншими словами, якщо на колесо, яке котиться, забезпечене шиною, діє сила, перпендикулярна його площині, колесо починає зміщуватися в напрямку дії сили. Причини виникнення відведення, вперше зазначені Беккером, полягають в наступному. Припустимо, на що спирається на горизонтальну поверхню колесо (рис 1.8) діє сила Y перпендикулярна до його площини. Сила ця врівноважується горизонтальною реакцією Y_1 на опорній площі

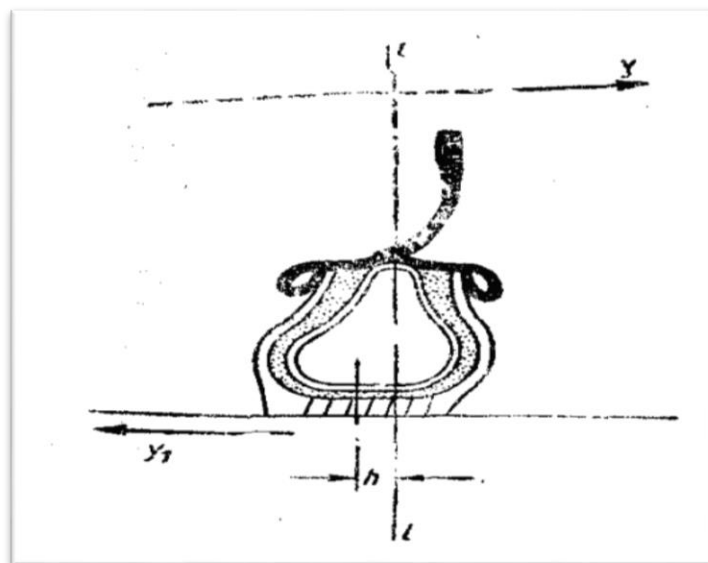


Рис.1.8

Під дією сили Y шина отримує відповідну бічну деформацію, і середня площина колеса 1-1 виявляється зрушено на якусь величину h щодо середини опорної поверхні шини.

На Рис 1.9 дан вид в плані опорної поверхні шини $abcd$; лінія $aacc$ є проекцією на площину дороги середньої лінії шини, т. Е. лінії, розташованої на периферії шини і ділить шину по ширині навпіл. Середня лінія пройде приблизно по середині опорної поверхні, а далі, завдяки деформації шини, відійде вбік і поступово підійде до середньої площини колеса. Для ясності величина деформації дана в сильно перебільшеному вигляді.

Припустимо, що колесо починає котитися зліва направо і його вісь перемістилася вправо на величину Δx . У зіткненні з дорогою прийдуть при цьому точки шини, зсунуті вбік по відношенню до початкового стану опорної поверхні. Нове положення опорної поверхні зображено на рис 1.9 пунктиром; середня лінія опорної поверхні в її передній частині встановлюється під якимось кутом до середньої площини колеса.

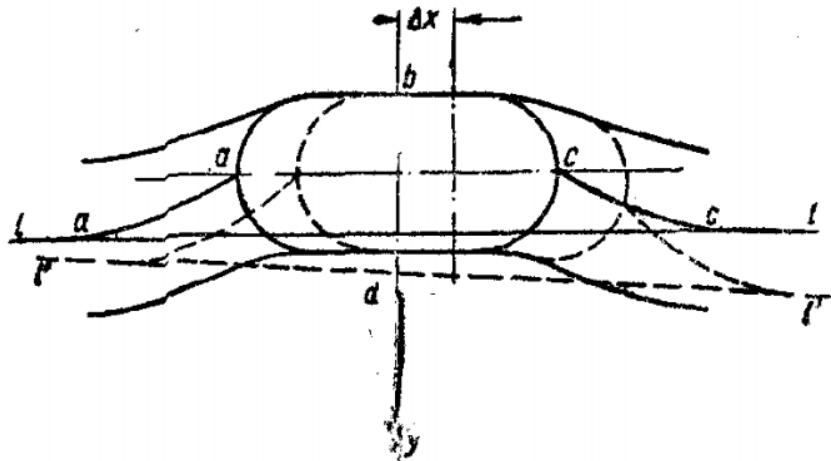


Рис. 1.9 вид опорної поверхні шини

У той же час сама середня площина відходить в якесь нове положення. Дійсно, якби положення середньої площини залишилося колишнім, це означало б часткове зняття бічних деформацій елементів шини, що не може бути при незмінній величині бічної сили. При сталому коченні поверхні (відбитка шини) дає відрізок її траєкторії. Тому якщо усталений рух колеса прямолінійно, то опорна поверхня в кінцевому рахунку розташується під якимось кутом відведення δ до площини l-l, причому її середня лінія ac буде пряма (рис 2 а). Легко бачити, що це положення вже є стабільним: при подальшому коченні колеса опорна поверхня не змінить своєї форми і свого положення відносно площини l-l і переміщається, як і всі колесо, по напрямку лінії ac. Сусіднє положення колеса і опорної поверхні представлено пунктиром.

В дійсності при русі автомобіля на повороті траєкторії коліс не прямолінійна. У цьому випадку середня лінія опорної поверхні матиме якусь кривизну, рівну кривизні траєкторії (рис. 2, б); зокрема, при руху-ванні автомобіля по колу

середня лінія буде дугою кола. У даній роботі нас будуть цікавити руху автомобіля на досить великих швидкостях, коли питання стійкості мають практичний інтерес. При цьому радіуси кривизни траєкторії автомобіля і всіх його коліс настільки великі в порівнянні з довжиною відбитки, що середня лінія може бути прийнята за пряму без помітної похибки .

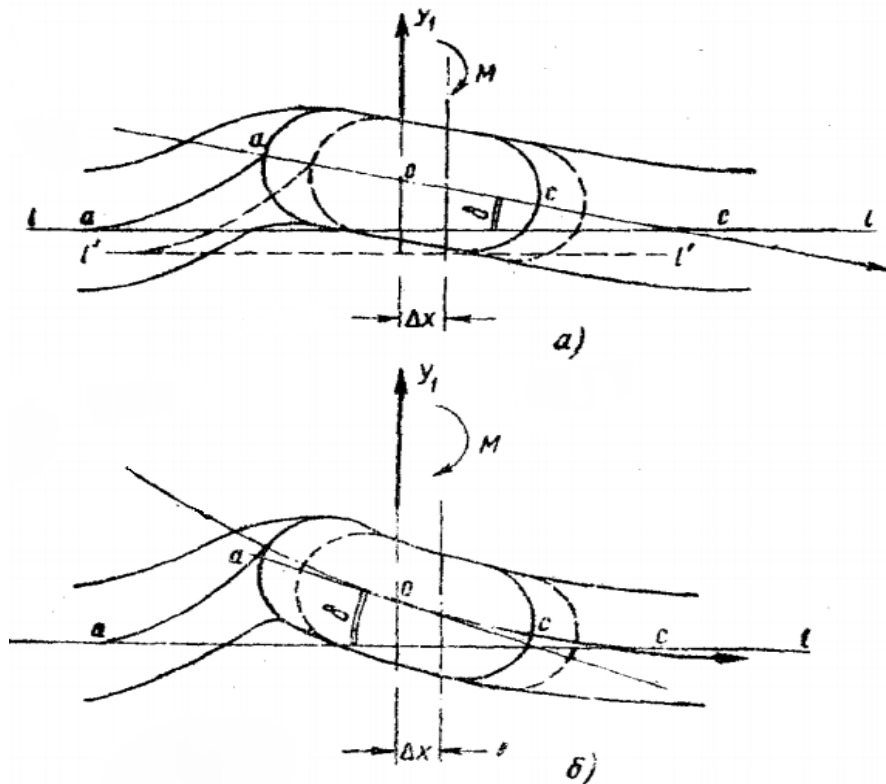


Рис. 2 Деформація шини

Як показує рис 2, бічна деформація шини не симетрична щодо центру опорної поверхні O і збільшується в напрямку до її заднього кінця. Тому результати елементарних бічних реакцій, що діють між опорною поверхнею і дорогою, буде зміщена назад щодо точки O . Якщо привести всі бічні реакції, що діють на опорній поверхні, до точки O , то крім реакції Y_1 , рівній і протилежної силі Y (рис 1.8), отримаємо ще момент M , який прагне повернути колесо в горизонтальній площині.

У разі жорстко закріпленого колеса цей момент буде передаватися на вісь, у разі керованого - сприйматися рульовим керуванням.

Залежність між силою Y і кутом відведення δ для даної шини може бути визначена за допомогою випробувань на біговому барабані. Колесо при цих випробуваннях встановлюється під деяким кутом до площини обертання барабана, і змиритися виникає бічна навантаження, яка прагне зрушити колесо убік.

Одночасно може бути виміряний момент M , який прагне повернути колесо в горизонтальній площині.

Аналогічні випробування можуть бути проведені за допомогою буксирування спеціального візка, де колесо встановлено під деяким кутом до напрямку руху. Обидва методи випробування дають можливість встановити залежність між Y і δ при прямолінійній русі колеса, відповідному схемою (рис 3, а)

Досліди такого роду проводилися неодноразово. Широке дослідження були проведені фірмами, що виготовляють шини. В результаті цих дослідів були отримані дані, що характеризують шини різних розмірів, різних конструкцій, при різноманітних умовах їх роботи.

Типова крива залежності $Y = f(\delta)$ показана на рис 4. Спочатку кут відведення прямо пропорційний бічній силі, і залежність представляється похилою прямою; при деякому значенні кута відведення починає зростати швидше, крива стає все більш пологою і, нарешті, йде паралельно осі абсцис.

Прямолінійна ділянка OA характеризується відсутністю ковзання в площині контакту; аналітично залежність між кутом відведення і бічною силою може бути тут виражена рівнянням (1):

$$Y = k \times \delta$$

Де k - постійний коефіцієнт характеризує опір шини відведенню і званий в подальшому коефіцієнтом опору відведенню

Точка B відповідає початку повного бічного ковзання шини. Відповідна бічна сила виражається рівнянням (2):

$$Y_{max} = \varphi \times G$$

Де G -вертикальне навантаження на колесо;

φ - коефіцієнт зчеплення між шиною і опорною поверхнею.

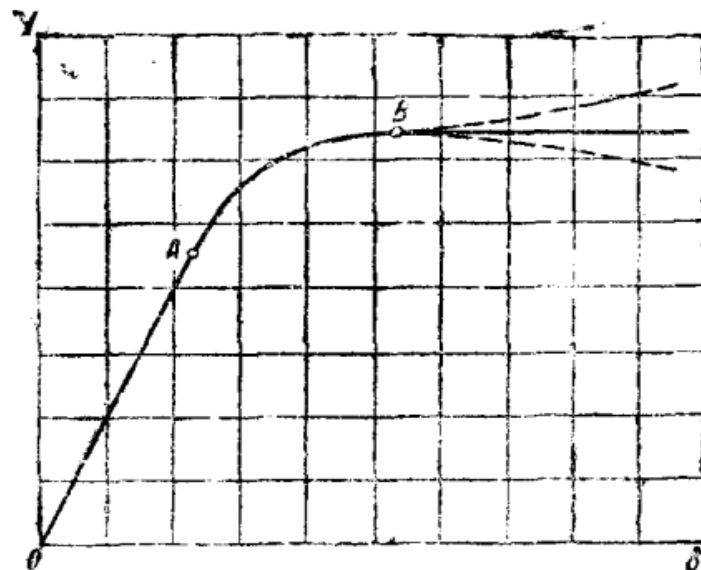


Рис 2.1 Графік Залежності дії сили на колесо від кута відведення шини

Якщо коефіцієнт φ не залежить від швидкості ковзання, то після початку повного ковзання залежність від відіб'ється у вигляді прямої, паралельності абсцис (див графік рис 2.1). Якщо коефіцієнт φ зі збільшенням швидкості ковзання зменшується або збільшується, залежність від γ від δ випаде відповідної пунктирною лінією .

Ділянка кривої АВ характеризує часткове прослизання опорної поверхні шини, так як перехід від відведення до бічного ковзання відбувається не відразу, а поступово; як зазначалося вище, бічні сили, що діють на окремих елементарних ділянках опорної поверхні шини, неоднакові і тим більше, чим ближче розглянутий ділянку до заднього кінця відбитка. Звідси впливає, що на задньому кінці опорної поверхні бічна сила раніше всього досягає величини сили зчеплення, після чого на цій ділянці починається прослизання.

У міру збільшення бічного навантаження на колесо прослизання поширюється на інші ділянки опорної поверхні, поки не дійде до її переднього кінця, що буде відповідати початку повного бічного ковзання колеса.

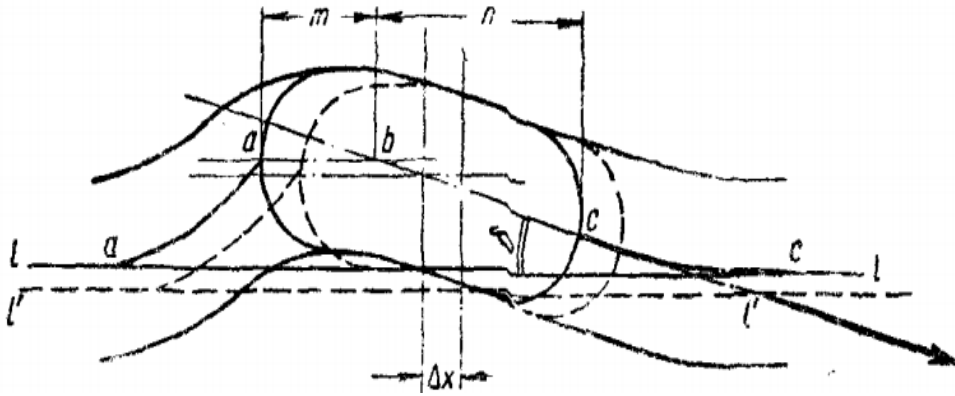


Рис.2.2 Схема руху колеса при частковому прослизанні елементів
зіткнення шини

Лінія aabcс зображує, як і раніше (рис 2) проекцію середньої лінії шини. На довжині m елементи опорної поверхні прослизують убік, в результаті чого вона приймає зазначену форму. У передній частині опорної поверхні, на довжині n , прослизання ще немає, з цього при коченні колесо рухається під кутом δ до своєї площині. Сусіднє положення опорної поверхні зображено на схемі пунктиром

Приклад залежності Y від δ , отриманої в результаті експерименту, показаний на рис 2.3 де представлені результати випробування шини розміром 7,50 - 17 в лабораторії Goodyear Tire and Rubber Co. Мал. 2.4 показує результати випробувань декількох шин різних розмірів в лабораторії U. S. Rubber Co. Розмір кожної шини і число шарів корду вказані на графіку. При цих випробуваннях шини не доводилися до прослизання, і отримані залежності відповідають ділянці без прослизання елементів шини. Пропорційність між бічною силою і кутом навіть в цьому випадку не завжди строго зберігається; проте відхилення від лінійної залежності в більшості випадків незначні.

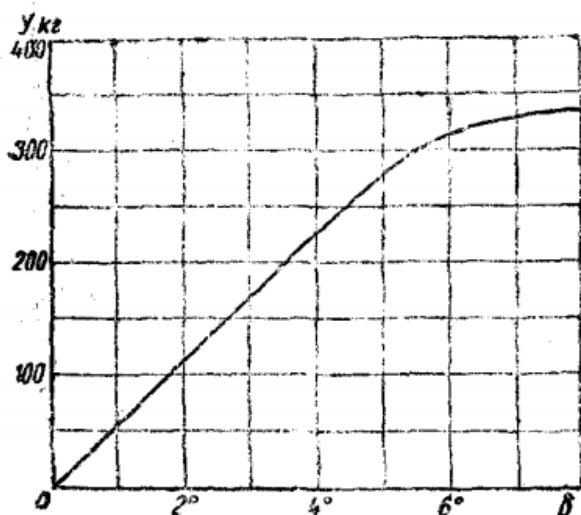


Рис 2.3 Графік залежності Y від δ в результаті експерименту випробування шини

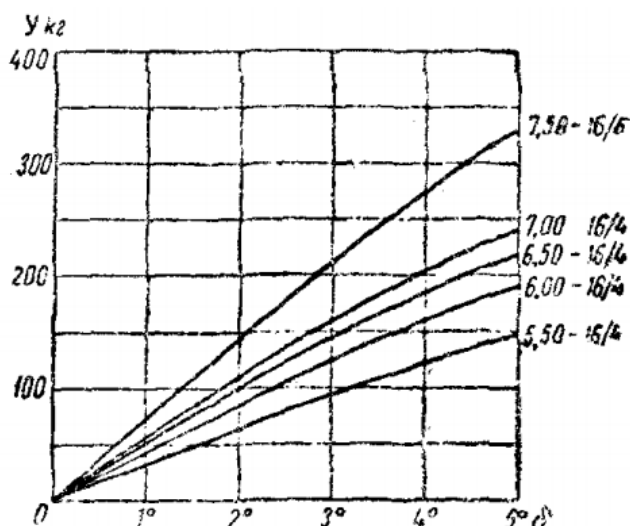


Рис 2.4 Графік залежності Y від δ в результаті експерименту випробування де-кількох різних шин

Коефіцієнт опору відведенню k для шин легкових автомобілів зазвичай лежить в межах 25-70 кг / град або 1400 - 4000 кг/рад в залежності від розміру і конструкції шини; для шин вантажних автомобілів він може бути значно більше. Експерименти показали наступні основні залежності коефіцієнта до від умов руху і конструктивних параметрів:

1. Коефіцієнт k практично не залежить від швидкості руху
2. Коефіцієнт дуже мало змінюється в залежності від переданого через колесо тягового або гальмівного зусилля.

3. При збільшенні вертикального навантаження на колесо коефіцієнт спочатку збільшується, потім починає падати. Максимальне значення k відповідає вертикальному навантаженні, близькому до нормального, рекомендованої для даної шини. При зміні вертикального навантаження в невеликих межах в обидві сторони від навантаження, що відповідає максимуму до, коефіцієнт k зменшується лише трохи.

4. Коефіцієнт k збільшується при збільшенні внутрішнього тиску в шині.

5. Коефіцієнт k збільшується при збільшенні ширини обода колеса і зменшенні кута корду покриття.

Крім того, експерименти показали, що величина кута відведення змінюється при нахилі колеса до площини дороги. Якщо верх колеса нахилений в сторону дії бічної сили, кут відведення збільшується, при зворотному нахилі - зменшується. Величина додаткового кута відведення залежить від величини нахилу. Початковий ухил кривої OAB (рис 2.1), тобто коефіцієнт k , визначається пружними властивостями шини; межа прямолінійного ділянки (точка A) і весь подальший хід кривої залежать не тільки від пружних властивостей шини, але і від сил тертя між шиною і опорною поверхнею, тобто від коефіцієнта зчеплення, вертикального навантаження і т. д.

Залежність між бічною силою і кутом відведення на ділянці часткового проковзування не може бути точно виражена аналітично зважаючи на велику складності процесу, що відбувається просторової деформації і ковзання шини. Необхідно мати на увазі, що рис 2.2 дає лише грубо наближену схему явища.

Однак, ґрунтуючись на цій схемі, можна вивести наближене співвідношення між Y і δ , за своїм загальним характером добре збігається з даними експерименту. Такий висновок, запропонований Жульєном, наводиться нижче. Припустимо, що на нерухомо стоячому колесі діє сила Y , перпендикулярна його площині, під дією якої площину колеса $l-l$ зсувається на величину u відносно середньої лінії опорної поверхні шини (рис 2.5).

Припускаючи, що елементарна сила dY , діюча на елементі ds довжини опорної поверхні, пропорційна бічному зсуву опорної поверхні відносно площини 1-1 отримаємо:

$$dY = \gamma y ds$$

Де γ - коефіцієнт, що залежить від пружних властивостей шини.

Позначаючи довжину опорної поверхні через s , отримаємо далі (3):

$$Y = \int_0^s \gamma y ds = \gamma y s = c y$$

Де c - коефіцієнт бічної жорсткості машини (постійна величина)

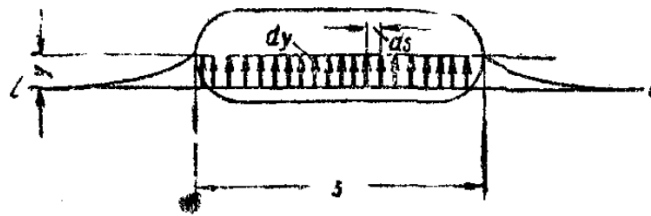


Рис 2.5 Нерухоме колесо під дією сили Y

Лінійний характер залежності між силою Y і бічний деформацією для малих y з відомим наближенням підтверджується експериментом. Позначивши через y_m максимально можливу з умов зчеплення з поверхнею дороги величину бокового зміщення отримаємо (4):

$$Y_{max} \approx c y_m$$

Де Y_{max} величина сили Y при якій починається бічне ковзання колеса

Розглянемо далі випадок відведення при відсутності прослизання елементів шини, коли відбиток шини розташовується під кутом δ до площини колеса 1-1 (рис 2.6). З огляду на невелику величину куту δ , покладемо $\tan \delta = \delta$ і $\cos \delta = 1$ бічний зсув на ділянці dx буде виражатися:

$$y = y_n + x\delta$$

де y_n - бічний зсув на передньому кінці опорної поверхні

x - відстань елемента dx від переднього кінця опорної поверхні. Далі отримаємо:

$$dY = \gamma y dx = (\gamma y_n + \gamma \delta x) dx$$

$$Y = \int_0^{x_s} dY = \gamma y_n x_s + \gamma \delta \frac{x_s^2}{2}$$

Помічаючи, що $x_s = s \cos \delta \approx s$

отримаємо:

$$Y = \gamma y_n s + \gamma \delta \frac{s^2}{2} = c y_n + \frac{c s}{2} \delta$$

З іншого боку, при відсутності прослизання елементів шини маємо:

$$Y = k \delta$$

Прирівнюючи обидва вирази для Y і вирішуючи отримане рівняння щодо y_n отримаємо(5):

$$y_n = \left(\frac{k}{c} - \frac{s}{2} \right) \delta$$

Тобто бічний зсув на передньому кінці опорної поверхні прямо пропорційно кутку відведення.

У разі часткового проковзування (рис 2.7) передня частина опорної поверхні розташується під кутом δ до площини 1-1, а на ділянці x_m матимемо максимально можливе з умов зчеплення бічний зсув y_m .

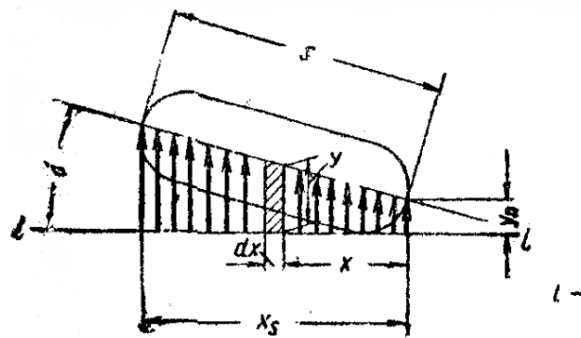


Рис 2.6 Колесо без прослизання елементів шини

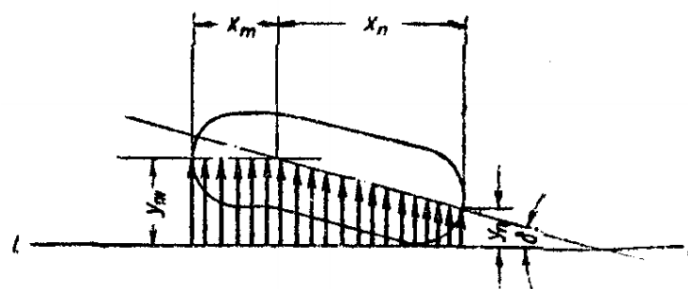


Рис 2.7 Часткове просковзування шини

Довжина ділянки x_n на якому відсутня бічне ковзання, визначиться з геометричних міркувань(6):

$$x_n = \frac{y_m - y_n}{\delta}$$

Позначивши бічну силу, діючу на цій ділянці через Y_1 отримаємо:

$$Y_1 = \int_0^{x_n} \gamma y dx = \int_0^{x_n} (\gamma y_n + \gamma \delta x) dx = \gamma y_n x_n + \gamma \delta \frac{x_n^2}{2} = \gamma y_n \frac{y_m - y_n}{\delta} + \gamma \frac{(y_m - y_n)^2}{2\delta}$$

Для сили Y_2 діючу на цій ділянці через Y_1 отримаємо:

$$Y_2 = \int_{x_n}^s \gamma y_m dx = \gamma y_m (s - x_n) = \gamma y_m s - \gamma y_m \frac{y_m - y_n}{\delta}$$

Сумарна силу Y , діюча на всій опорній поверхні буде дорівнює сумі сил Y_1 і Y_2 :

$$Y = Y_1 + Y_2 = \gamma y_m s - \gamma \frac{(y_m - y_n)^2}{2\delta}$$

Підставляючи сюди значення y_m і y_n відповідно до рівнянь вище і помічаючи, що відповідно до рівняння $\gamma = \frac{c}{s}$, отримаємо остаточно (7):

$$Y = Y_{max} - \frac{(Y_{max} - k\delta + \frac{cs}{2}\delta)^2}{2cs\delta}$$

Рівняння (7) дає шукану залежність між силою і кутом відведення β при частковому прослизанні шини. Вхідні в це рівняння коефіцієнти до i з i довжина опорної поверхні s можуть бути визначені для даної шини шляхом експерименту. Про дійсних величинах коефіцієнта k було сказано вище. Величина z для шин легкових автомобілів зазвичай коливається в межах 50 --- 100 кг / см. Величина Y_{max} для вільного колеса визначається за рівнянням (2).

Щоб знайти кут відведення δ_n , відповідний початку проковзування, прирівнюємо довжину ділянки x_n [рівняння (6)] всій довжині опорної поверхні s :

$$s = \frac{y_m - y_n}{\delta}$$

Підставляючи величини y_m і y_n по рівняннях (4) і (5) і вирішуючи отримане рівняння відносно δ , отримаємо остаточно(8):

$$\delta_n = \frac{k * Y_{max}}{k + \frac{cS}{2}}$$

Сила Y_n відповідна початку проковзування буде виражена (9):

$$Y_n = k\delta_n = \frac{kY_{max}}{k + \frac{cS}{2}}$$

Величину кута відведення δ_m при якому почнеться повне бічне ковзання шини, отримаємо з вирівняні (7), підставивши замість сили Y відповідних її значеннях, тобто Y_{max} , і вирішивши рівняння відносно δ (10):

$$\delta_m = \frac{Y_{max}}{k - \frac{cS}{2}}$$

Момент опору коченню

Для забезпечення рівномірного руху автомобіля необхідно постійно передавати за допомогою трансмісії на його рушії певний крутний момент. Причому величина цього моменту має достатнє значення навіть при невеликій швидкості руху транспортного засобу (читай малому опорі повітря) і відсутності дорожнього ухилу.

На автомобільне колесо, яке взаємодіє з опорною поверхнею, діють певні сили, які утримують автомобіль на дорозі, пересувають і зупиняють його, змушують змінювати напрямки руху. В процесі взаємодії класного рушія з опорною поверхнею деформується як колесо, так і опорна поверхня. Для автомобіля як транспортного засобу найбільш характерний вид руху, при якому деформація опорної поверхні значно менше деформації шини. Т. е. Характерною особливістю автомобіля є те, що його рушієм є система коліс з еластичними пневматичними шинами.

Шина деформується під дією нормальної до опорної поверхні складової навантаження на колесо. Площа контакту її з дорогою збільшується до тих пір, поки не настане рівновага між нормальною реакцією дороги і навантаженням. У нерухомою шини контактна поверхня має форму, близьку до еліпса, велика вісь

якого знаходиться в площині симетрії шини. Розподіл тиску по площі контактної поверхні нерівномірний, воно приблизно пропорційно деформації шини. Характерна епюра тисків під нерухомою шиною показана на рис 2.8 а

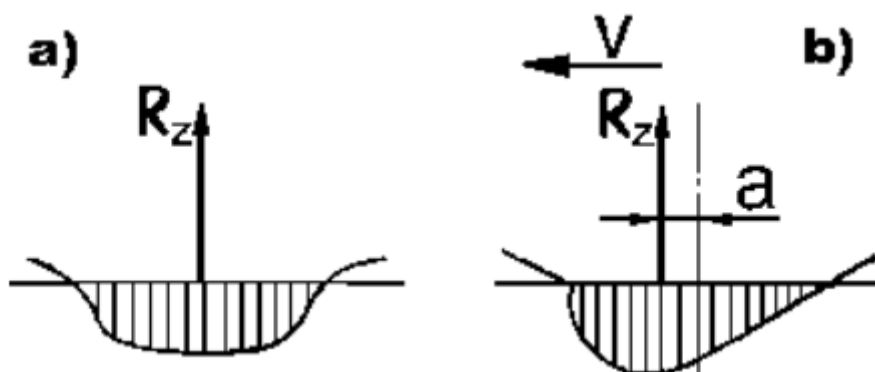


Рис 2.8. Епюри тисків: а – нерухомої шини; б – шини що котиться

За один оборот колеса кожен елемент профілю шини піддається повному циклу навантаження і розвантаження. Залежність навантаження dF , що передається на елемент, від його деформації представлена на графіку рис. 2.9 У міру переміщення елемента шини від точки його входу в пляма контакту з дорожнім покриттям (точка 1), до точки, що лежить на малій осі еліпса плями контакту (точка 2), збільшується його деформація і, отже, сприймається їм навантаження (лінія 1-2). При переміщенні елемента від точки, що лежить на малій осі еліпса плями контакту (точка 2), до точки виходу елемента шини із зони контакту (точка 3) відбувається зменшення деформації, відповідно зменшуються навантаження, що припадає на елемент. На графіку лінія 2-3, яка характеризує залежність $dF = f(h)$ (h - величина прогину) при зменшенні деформації, внаслідок немінучих гістерезисних втрат пройде нижче лінії 1-2, яка б показала ту ж залежність при збільшенні деформації. Площа, яка знаходиться між лініями навантаження і розвантаження, пропорційна втратам енергії на деформацію елемента шини при одному обороті колеса. Якщо бути більш точним, то частина підведеної енергії розсіюється в результаті внутрішнього тертя між різними конструктивними елементами шини (шарами корду, зовнішнім шаром корду і брекером, брекером і протектором).

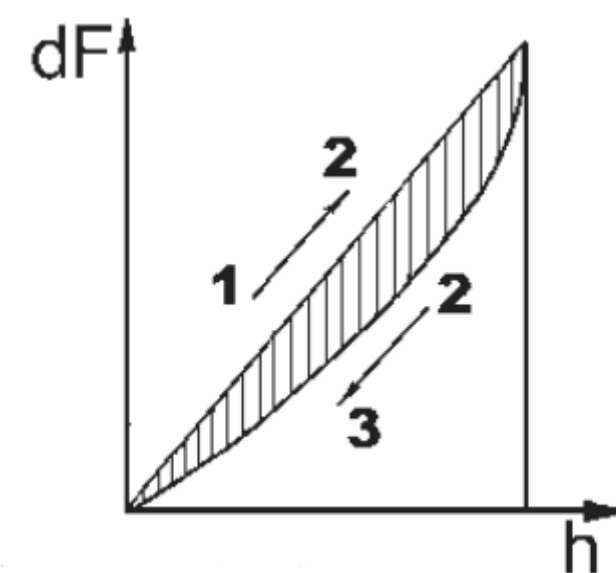


Рис 2.9 Деформація елементів шини при коченні: dF - навантаження, h - величина прогину шини.

Внаслідок того, що при однакових прогибах в зонах збільшення і зменшення деформації на елементи шини припадає різне навантаження, епюра тисків для котиться колеса виявляється несиметричною відносно середини контактної поверхні: в передній частині контактної поверхні нормальні тиски будуть більшими, ніж в задній. Тому рівнодіюча нормальних реакцій зміщена на відстань a від середини контактної поверхні (Рис. 2.8.б). За рахунок цього зміщення створюється момент щодо осі колеса:

$$M_f = a \times R_z$$

Де:

a - відстань від середини контактної поверхні до точки прикладання рівнодіючої нормальних реакцій дороги;

R_z - нормальна до опорної поверхні складова реакції дороги.

Цей момент і називають моментом опору коченню колеса. З наведеного видно, що на недеформируемой поверхні момент опору коченню зумовлений внутрішніми (гістерезисними) втратами енергії на деформацію шини. У деяких випадках він може приймати досить великі значення.

2 Елементи електромеханічної системи

2.1 Електричний двигун

Електродвигун складається із обертової частини — ротора та нерухомої частини — статора. Розрізняють електродвигуни постійного та змінного струму. Останні поділяють на синхронні та асинхронні. Асинхронні електродвигуни у свою чергу, поділяються на асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором (так звана біляча клітка) та фазним ротором, а за функціональним призначенням, на: загальнопромислові, кранові, ліфтові, екскаваторні, тролейбусні, трамвайні, автомобільні.

Електродвигун є частиною електропривода транспортних (підйомально-транспортних) засобів, зокрема конвеєрів, шахтних підйомальних установок тощо.

Сьогодні, електродвигуни застосовуються у безлічі побутових приладів, наприклад: пральні машини, мікрохвильові пічки, відеомагнітофони, жорсткі диски, CD-програвачі, вентилятори, газонокосарки тощо; у великих кількостях використовуються у: машинах, обладнанні, робототехніці, іграшках, електронному обладнанні. Важливість електродвигунів для сьогоденного сучасного індустріального суспільства, також знаходить своє відображення в енергоспоживанні: на частку електродвигунів припадає понад 50 відсотків споживання електроенергії, наприклад, у Німеччині.

Електродвигуни постійного струму, можуть бути з паралельним, послідовним та змішаним збудженням.

Паралельне збудження — якірна обмотка і обмотка збудження підключені до мережі паралельно. Такий двигун не сильно реагує на зміну навантаження, а з тим, відповідно, має жорстку характеристику. Деякі двигуни з паралельним збудженням мають невеличку, на декілька витків, обмотку послідовного

збудження, яку підключено зустрічно із паралельною обмоткою, і призначено для зменшення реакції якоря.

Послідовне збудження — обмотка збудження підключена послідовно з якірною обмоткою, і у ній протікає такий же струм, як і в якірній. Такий двигун має м'яку характеристику — сильна реакція на зміну навантаження. Якщо зняти навантаження з двигуна, відповідно упаде сила струму в обох обмотках. Спад струму в обмотці збудження призведе до зменшення її магнітного потоку, і цим — до збільшення частоти обертання якоря. За збільшення частоти обертання якоря, протиелектрорушійна сила ще більше зменшить силу струму в обмотці, і цим ще більше зменшить магнітний потік обмотки збудження. Такий електродвигун піде «врозліт». Тому двигуни з послідовним збудженням повинні бути міцно з'єднані з навантаженням (робочим механізмом).

Змішане збудження — такий двигун має дві обмотки збудження — послідовну та паралельну. Послідовну обмотку може бути підключено зустрічно або згідно із паралельною обмоткою. Такий двигун має жорсткішу характеристику ніж двигун із послідовним збудженням [1]

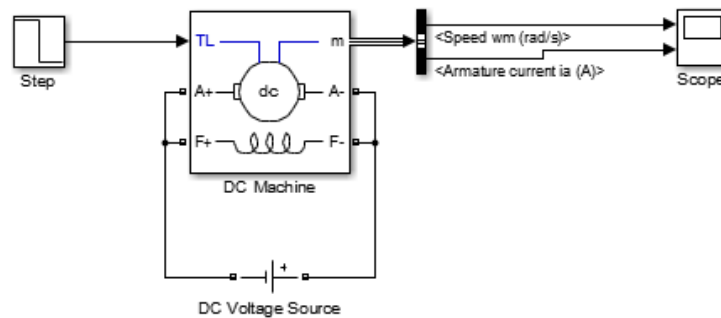


Рис. 3 математична модель двигуна постійного струму

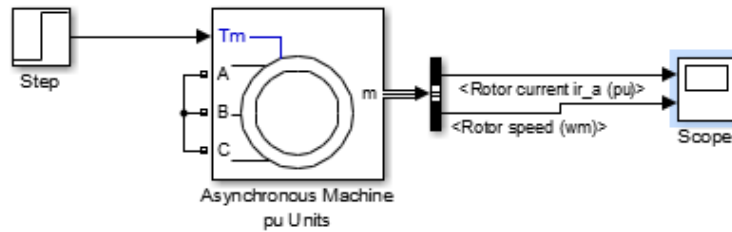


Рис.3.1 математична модель асинхронного двигуна

У електромобілі Tesla model S встановлений асинхронний трифазний електродвигун змінного струму. Двигун є власною розробкою компанії Tesla Motors і не має аналогів. Електромотор встановлений на задній міст автомобіля. Потужність двигуна Tesla Model S в максимальній комплектації - 416 л. с., максимальний (постійний) крутний момент - 600 Нм. Електромотор охолоджується за допомогою рідкої системи охолодження.

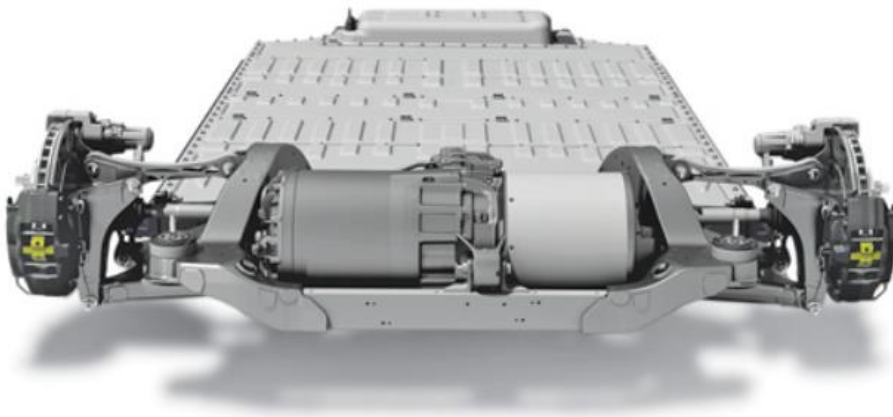


Рис 3.2 Двигун Tesla model S

2.2 Силовий перетворювач

Перетворювач— пристрій, елемент електричних, гідравлічних, пневматичних та інших схем, який перетворює один вид енергії на інший або сприяє цьому.

За характером і видом перетворювальної енергії перетворювачі класифікуються на однорідні і неоднорідні.

Однорідні перетворювачі мають однакову за фізичною природою вхідну й вихідну величину. Наприклад, підсилювачі, трансформатори, випрямлячі перетворюють електричні величини на електричні з іншими параметрами.

Неоднорідні. Серед неоднорідних найбільшу групу становлять перетворювачі неелектричних величин на електричні (термопари, терморезистори, тензометричні давачі, п'єзоелементи і т.ін.). [2]

Керовані тиристорні випрямлячі є основним джерелом живлення та засобом керування електричних двигунів постійного струму у промислових автоматизованих електроприводах. Використовуються вони також і в електроприводах змінного струму для живлення обмоток збудження синхронних двигунів та у складі двоступеневих перетворювачів частоти. Найбільш поширеною схемою випрямлячів середньої та великої потужності є трифазна мостова (рис 3.2). Вона складається з 6 тиристорів $VS1...VS6$. Тиристори з непарними номерами складають анодну групу (у них з'єднані аноди), а з парними – катодну. Як і у будь-якому мостовому випрямлячі, у кожний момент часу відкрито два тиристори – один з анодної групи, другий – із катодної. [3]

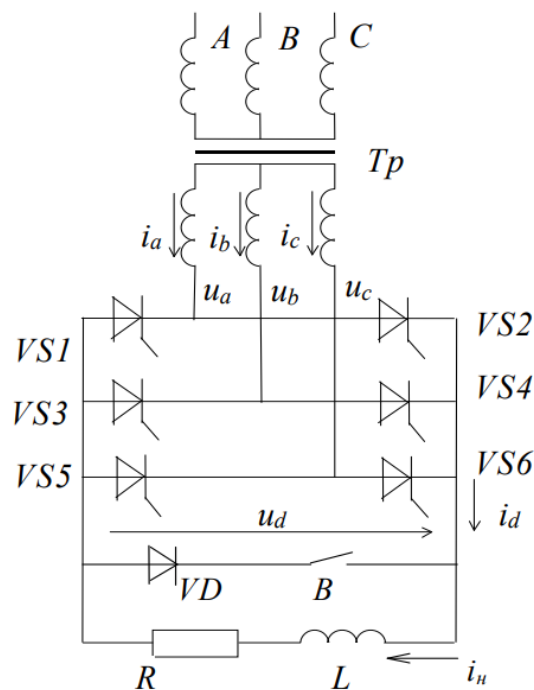


Рис. 3.2 Трифазна мостова схема

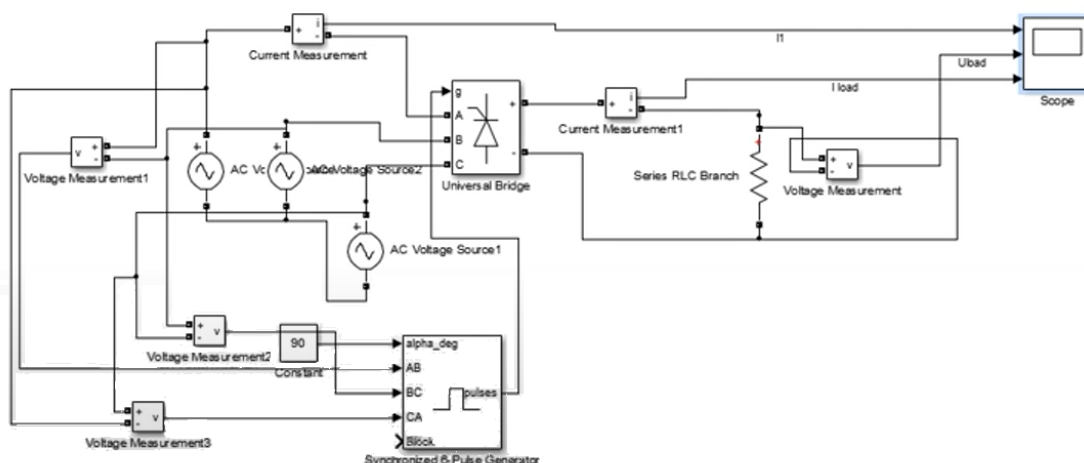


Рис 3.3 математична модель трьохфазного керованого випрямляча

2.3 Акумуляторна батарея

Розвиток електричних транспортних засобів обумовлює потребу в моделях, що достатньо точно відображають характер процесів, які виникають в акумуляторних батареях (АКБ) при роботі електропривода, оскільки саме АКБ є основним джерелом енергії в автономному наземному електротранспорті. Моделювання АКБ є складною задачею через електрохімічну природу процесів, що протікають всередині них. На характер цих процесів впливає низка факторів, такі як: температура, значення і напрямок струму, відпрацьований ресурс тощо. Врахування всіх можливих факторів сильно збільшує необхідну обчислювальну потужність керуючого пристрою. Однією з головних характеристик АКБ є його ефективна ємність QEN. Фактично, вона визначає максимальну доступну кількість енергії, яку АКБ може віддати без суттєвої деградації (перерозряду). З фізичної точки зору, ефективна ємність відповідає заряду, збереженому в АКБ за визначених зовнішніх умов (наприклад, температура, вік, кількість циклів перезаряду і т.п.). Для ефективного використання ресурсів АКБ необхідно, окрім визначення ефективної ємності, відслідковувати в реальному часі зміну доступного заряду. На сьогодні в електротехніці, зокрема в

електротранспорті, найбільш уживаними є свинцево-кислотні та літійіонні/літій-полімерні акумулятори

Свинцево-кислотні акумулятори - це найстаріший тип АКБ. Вони широко застосовуються в автономних джерелах живлення, джерелах безперебійного живлення і т.п. Однак, головними недоліками цього типу акумуляторів є низька питома енергія, великий час заряду та малий ресурс перезарядів.

Літій-іонні і літій-полімерні

акумулятори на сьогодні є найбільш уживаним в електротехніці, починаючи від мобільних телефонів та портативних пристроїв і закінчуючи електромобілями.

Це пояснюється високими питомими енергією та потужністю, а також дуже великим ресурсом роботи .

Таким типом акумулятора оснащена Tesla Model S він має ємність 85 кВт·г або 60 кВт·г (залежить від комплектації). Цього акумулятора вистачає, щоб подолати відстань рівне 426 км і 335 км відповідно !!! Подібний показник з легкістю конкурує з іншими бензиновими автомобілями сегмента S. Батарея складається з 16 блоків і розташовується уздовж днища автомобіля, що додатково підвищує торсіонну жорсткість і безпечність . Таким чином, таке розташування акумулятора дозволяє знизити центр ваги авто до 45 см.

Характеристика акумулятора Tesla:

- Тип батареї: літій-іонна
- Обсяг батареї: 85/60 кВт·г *
- Запас ходу до повної зарядки: 426/335 км *
- Ресурс: 7 років або 160 тис. Км
- Габарити батареї: Довжина - 2.1 м, Ширина - 1.2 м, висота - 15 см
- Вага батареї: ~ 450 кг
- Час зарядки від побутової мережі змінного струму 110В: за 1 годину заповнюється 8 км шляху
- Час зарядки від побутової мережі змінного струму 220В: за 1 годину заповнюється 50 км шляху [4] [5]



Рис 3.4 Акумулятор Tesla Model S

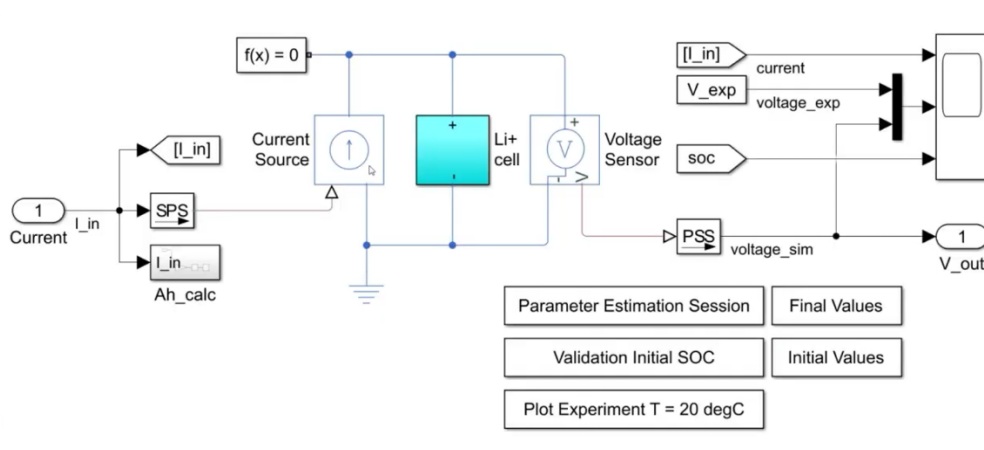


Рис. 3.5 Математична модель акумуляторної батареї

3. Системи автоматичного керування

Система автоматичного керування – сукупність регулятора, давача та об’єкту керування, в якій звичайно використовується принцип зворотного зв’язку. Забезпечує стабілізацію певного технологічного параметру або його зміну за заданим законом

Автоматичності регулюванням називають підтримку на заданому Рівні певної фізичної (хімічної) величини, що характеризує процес, або зміну її згідно із завдань законом.

Автоматичне керування - ширше Поняття, в цьому випадку здійснюється сукупність впливів на процес, вибраних з певної множини можливий.

Автоматичні систем керування можна класифікувати за різними ознаками:

- Інформативним принципом;
- кількістю керованих параметрів і контурів;
- виглядом статичних і динамічних характеристик
- структурними особливостями, тощо.

Одним з поширених принципів класифікації автоматичних систем керування на сьогодні при бурхливому розвитку інформаційних технологій є інформативний, в основі якого лежать особливості здобуття і використання інформації. Відповідно до цього принципу виділяють системи: з повною і з неповною початковою інформацією. Перші називають звичайними, вони мають початкову інформацію, достатню для розв'язання поставленого завдання на період всього часу роботи системи. З неповною початковою інформацією або кібернетичні є системами, які для розв'язання поставлених завдань повинні в процесі роботи діставати додаткову інформацію, аналіз якої дає змогу сформулювати потрібні команди керування. Системи водопостачання та водовідведення як об'єкти автоматизації відносять до звичайних систем з повною початковою інформацією. Їх можна розділити на дві характерні групи, що відрізняються як принципом керування, так і особливостями функціонування. Перша — це замкнуті автоматичні систем керування відносно вихідної (керованої) величини, що діють на основі принципу керування за відхиленням керованої величини, їх ще називають системами із зворотним зв'язком. Друга — розімкнуті автоматичні систем керування відносно тієї ж величини, що базуються на принципі керування за збуренням.

Замкнуті

Замкнуті, в свою чергу, бувають трьох видів: стабілізації, програмні й слідкуючі.

Системи стабілізації повинні забезпечувати сталі значення керованої величини (Y) об'єкта керування $Y = const$ Прикладом таких систем можуть бути:

автоматичні системи керування температурою повітря в житловому приміщенні, автоматичні системи керування тиском в нагнітальному патрубку насоса тощо

Програмні автоматичні системи керування повинні забезпечувати зміну керованої величини за деякою заздалегідь відомою програмою: $Y = var$.

Слідкуючі автоматичні системи керування також забезпечують $Y = var$, але принципова їх відмінність від програмних систем полягає в тому, що потрібний для виконання закон зміни керованої величини заздалегідь не відомий, а формується в ході роботи системи

Системи програмного керування, на відміну від програмних автоматичних систем керування, крім того, що мають розімкнуту схему, повинні згідно із заданою заздалегідь програмою ще й забезпечувати відповідну зміну режиму роботи об'єкта. Прикладом цих систем можуть бути ліфтові підйомні установки, де кінцеві вимикачі забезпечують необхідні зміни режиму роботи електропривода залежно від положення кабіни ліфта.

Статичні й астатичні автоматичні системи керування. Основною з ознак цих систем є вигляд керувальної характеристики, що показує залежність керованої величини (Y) в статичному положенні від витрат робочого середовища.

Статичною називають систему, в якій керована величина (Y) при зміні зовнішніх збурень на об'єкті, змінюючись в деяких допустимих межах, після закінчення перехідного процесу залежно від зовнішнього збурення має різні значення. Керувальна характеристика в загальному випадку має вигляд

$$Y = \bar{Y} + \Delta(Y)$$

де \bar{Y} — середнє значення керованої величини Y ; — функція збурення, що визначає відхилення керованої величини від її середнього значення залежно від величини збурення в межах зони керування. Величину статизму визначають відношенням відхилення керованої величини в межах $Y_{\min} - Y_{\max}$ до її середнього значення у відсотках:

$$\delta = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{\bar{Y}} \times 100\%$$

Астатичною називають систему, в якій керована величина Y при зміні зовнішніх збурень після завершення перехідного процесу набуває строго сталого значення при різних величинах зовнішніх збурень. Керувальна характеристика астатичної системи є горизонтальною прямою.[6]

САК складається:

З об'єкта керування (ОК), керування режимом роботи якого здійснюється за допомогою пристрою автоматичного керування (ПАК). Стрілками на схемі показано величини, які забезпечують роботу системи, а саме:

- Об'єкт керування (ОК) – це певний пристрій, технічна, природна чи організаційна система алгоритм функціонування якого у даній САК підтримується з потрібною точністю.
- Пристрій автоматичного керування (ПАК) – пристрій, який забезпечує виконання алгоритму керування автоматично, без участі людини.
- $U_{вх}(t)$ – задаюча (вхідна) величина (задаючий сигнал) – величина, яка відповідає дії людини на САК і задає певний алгоритм функціонування об'єкта, тобто задає потрібний режим його роботи
- $U_{рег}(t)$ – керуюча (регулююча) величина (сигнал регулювання) – дія пристрою автоматичного керування на об'єкт з метою підтримання його алгоритму функціонування.
- $U_{вих}(t)$ – вихідна величина (вихідний сигнал) – результат роботи системи, параметри роботи системи, які описуються в алгоритмі функціонування.
- $f(t)$ – збурююча дія (сигнал збурення) – зовнішня дія на об'єкт, яка призводить до зміни вихідних величин більших ніж допускається алгоритмом функціонування.

3.1 Закони керування

Законом регулювання називають залежність керуючого сигналу, що виробляється регулятором, від сигналу розбалансу у часі. Закон регулювання в загальному вигляді може бути записаний залежністю:

$$\mu = k\varphi(\Delta, t)$$

Закон регулювання формується за допомогою зворотних зв'язків. З урахуванням динамічних властивостей об'єкта керування він визначає вид і якість перехідного процесу в САР. Формування закону регулювання здійснюється відповідно до алгоритму перетворення сигналу, що проходить через регулятор (корегувальний пристрій) в напрямі вхід — вихід. У ряді випадків у формуванні закону регулювання беруть участь сигнали різних зворотних зв'язків; «жорстких», якщо сигнал пропорційний регулюючій дії, і «гнучких», якщо в оператора входять похідні.

У реальних системах закон регулювання виконується з певними обмеженнями, які визначаються областю нормальних режимів роботи об'єкта, регулятора або корегувальних пристроїв, елементів системи. У системах промислової автоматики найбільшого поширення набули такі закони регулювання:

1. Пропорційний закон регулювання (П) реалізуються регуляторами в системах автоматичного регулювання. Автоматичні регулятори, що реалізують даний закон, ще називають регуляторами з жорстким зворотним зв'язком, або статичними. Рівняння П-регулятора і передавальна функція мають вигляд: $\mu = k_p \Delta$, $W(p) = k_p$

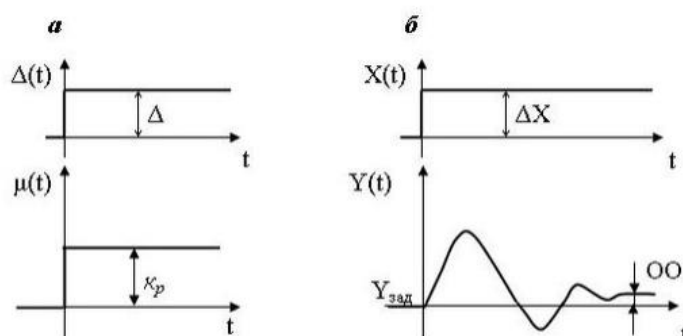


Рис 3.6 Перехідна функція П-регулятора (а) і Вид перехідного процесу в системі регулювання (б)

2. Пропорційно-інтегральний закон регулювання (ПІ) Регулятори, які працюють за даним законом, виконують переміщення регулюючого органу

пропорційно сумі відхилення та інтеграла від відхилення регульованої величини, тобто здійснюють П- та І- вплив:

$$u = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt = K_1 \left(\varepsilon + \frac{1}{T} \int \varepsilon dt \right)$$

реалізується ізодромним або ПІ-регулятором з параметрами налаштування K_1 та $T_i = \frac{K_1}{K_2}$ У динамічному відношенні ПІ-регулятор подібний системі з двох паралельно включених регуляторів: пропорційного з коефіцієнтом передачі K_1 та інтегрального з коефіцієнтом передачі K_2 . Реалізується ПІ-закон за допомогою гнучкого зворотного зв'язку

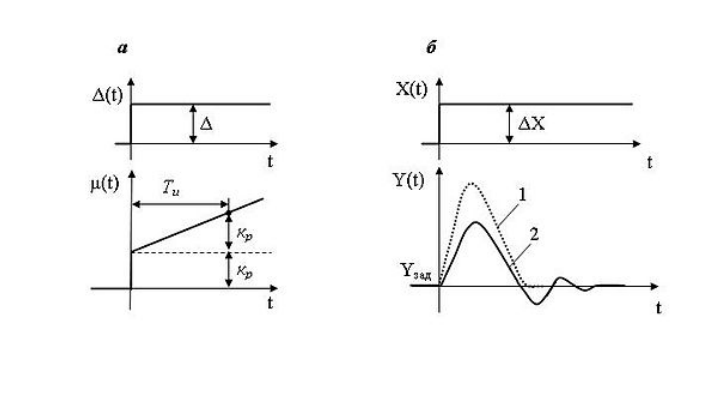


Рис 3.7 ПІ-регулятора і вид перехідних процесів у системах регулювання.

3. Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання (ПІД)

найскладніший алгоритм функціонування автоматичного регулятора, що включає вплив усіх розглянутих вище законів. Реалізація цього закону пов'язана із застосуванням пружного зворотного зв'язку. На рис. 3.7 б подана перехідна функція ПІД-закону, де виділено області впливу складовими Д, П, І закону.

Регулятори з випередженням значно поліпшують якість регулювання, особливо якщо об'єкт володіє великим запізненням та інерційністю.

Рівняння ПІД-закону мають вигляд:

$$u = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt + K_3 \frac{d\varepsilon}{dt} = K_1 \left(\varepsilon + \frac{1}{T_i} \int \varepsilon dt + T_p \frac{d\varepsilon}{dt} \right)$$

що реалізується ізодромним регулятором з передуванням або ПІД-регулятором з параметрами налаштування K_1 , $T_i = \frac{K_1}{K_2}$, $T_p = \frac{K_3}{K_1}$ Налаштовувальні

параметри k_p , T_i і T_r регулятора зумовлюють вид і якість перехідного процесу системи регулювання, як і динамічні властивості об'єкта. [7]

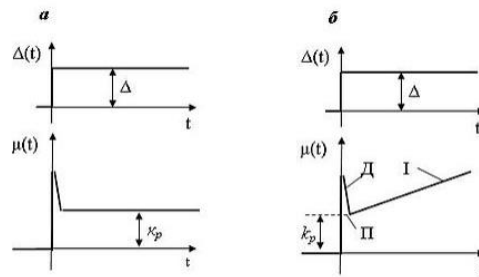


Рис 3.8 (а) - ПД та (б) - ПД-регулятора

3.2 Перехідні процеси

Електромагнітні процеси, які відбуваються у колах за дії в них джерел енергії протягом тривалого часу, називають вимушеними. Напруги та струми вимушеного режиму залежать від параметрів кола та від електрорушійної сили джерел живлення (постійна, синусоїдна, експоненціальна тощо).

Будь-яка зміна стану електричного кола (ввімкнення, вимикання, зміна якогось параметру) називається комутацією. Комутацію здійснюють за допомогою різних комутаційних апаратів - вимикачів, перемикачів. Для спрощення аналізу процесів припускають, що комутація відбувається миттєво; момент комутації вважають нульовим:

$$t = 0.$$

Комутація спричиняє перехід електричного кола від одного вимушеного режиму до іншого. Цей перехід відбувається протягом деякого часу і називається **перехідним процесом**. Теоретично перехідні процеси до їх повного завершення тривають нескінченно довго, практично – десятки, соті, а іноді навіть мільярдні долі секунд. Так перехідні процеси у гідрогенераторах тривають до 25 секунд, а у тригерах – мікросекунди і менше. Причина виникнення перехідного процесу полягає у тому, що кожному вимушеному режиму відповідає своє конкретне

значення енергії електричного поля конденсатора $W_{ел} = \frac{Cu_c^2}{2}$ і магнітного поля

катушки $W_M = \frac{Li_L^2}{2}$ Перехід кола від одного енергетичного стану до іншого внаслідок обмеженої потужності не може відбуватися миттєво. Із наведеного вище випливає, що перехідні процеси виникають у колах, які б містять хоча б один реактивний елемент, здатний накопичувати та віддавати енергію (конденсатор або катушка). У колах, що складаються лише з резисторів, перехідні процеси не спостерігаються. Хоч перехідні процеси короткочасні та їх аналіз обов'язковий для забезпечення безаварійної роботи електрообладнання, оскільки амплітудні значення перехідних струмів і напруг можуть у десятки разів перевищувати значення у вимушених режимах. У пристроях радіотехніки та автоматики перехідні процеси є нормальним режимом роботи. Їх вивчення дозволяє встановити як деформуються за формою та амплітудою сигнали під час проходження через підсилювачі, фільтри. Розрахунок напруг та струмів на ділянках електричного кола під час перехідного процесу проводять, користуючись рівняннями, складеними за законами Кірхгофа для миттєвих значень напруг і струмів. Для електричних кіл з лінійними елементами, що мають постійні параметри R, L, C, ці рівняння є лінійними диференційними рівняннями з постійними коефіцієнтами. Залежно від способу розв'язання диференційних рівнянь існують відповідні методи розрахунку перехідних процесів: класичний, операторний та ін.

Перед розглядом особливостей розрахунку перехідних процесів класичним методом, слід відзначити, що в лінійних електричних колах незалежно від методу розрахунку перехідні процеси підпорядковуються двом законам комутації.

Перший закон комутації : Струм i_L та потокозчеплення ψ_L індуктивної катушки стрибком не змінюються. Їх значення у момент комутації $i_L=0$, $\psi_L =0$ дорівнюють значенням у момент безпосередньо перед комутацією $i_L(-0), \psi_L(-0)$ і починають змінюватися саме з цих значень :

$$i_L(0) = i_L(-0) \qquad \psi_L(0) = \psi_L(-0)$$

Під час вимушеного режиму у магнітному полі котушки накопичується Енергія $W_M = \frac{Li_L^2}{2} \frac{\psi_L}{2}$ Якби струм I_L змінювався стрибком, то енергія W_M також мала б змінюватися стрибком. Це призводило би до появи у котушці нескінченно великої потужності $p = \frac{dW_M}{dt} = \infty$ чого на практиці

не може бути

Другий закон комутації : Напруга U_c і заряд q конденсатора стрибком не змінюється. Їх значення у момент комутації $u_c(0)$, $q(0)$ дорівнюють значенням у момент безпосередньо перед комутацією $u_c(-0)$, $q(-0)$ і починають змінюватися саме з цих значень:

$$u_c(0) = u_c(-0) \qquad q(0) = q(-0)$$

Під час вимушеного режиму в електричному полі конденсатора накопичується енергія $W_{ел} = \frac{Cu_c^2}{2} = \frac{qu_c}{2}$. Якби напруга U_c або заряд q змінювалися стрибком, то енергія поля $W_{ел}$ також повинна була б змінюватись стрибком. Це призводило би до появи у конденсаторі нескінченно великої потужності $p = \frac{dW_{ел}}{dt} = \infty$ чого на практиці не може бути внаслідок обмеженої потужності джерел та наявності активного опору

На мою думку для безпечного руху автомобіля потрібно використовувати другий закон комутації для розрахунку перехідного процесу, так як значення напруги та заряду конденсатора, у момент комутації дорівнюють значенням у момент перед комутацією у колі .

4. Дослідження параметрів прослизання колеса при різних режимах обертання кругового універсального випробувального стенду дорожніх матеріалів

В даному пункті описані дослідження по визначенню прослизання автомобільного колеса при різних швидкісних режимах, при різних температурі і тиску в шині. Дослідження по визначенню величини проковзування колеса проводилися на круговому універсальному випробувальному стенді дорожніх матеріалів, з використанням

енкодерів, що дозволяє проводити випробування в умовах, наближених до дорожніх. З допомогою встановлених енкoдерів на ведених і ведучих колесах стенду, можна визначити різницю між відстанями, пройденими провідними і відомими колесами. такий спосіб дозволяє визначити прослизання колеса без установки датчиків в автомобільну гуму, що забезпечує первинний вигляд і цілісність гуми і забезпечує кочення коліс по асфальтобетонному покриттю. Проведені експерименти і розроблена методика оцінки прослизання колеса показує, що дослідне визначенні цього показника на круговому універсальному випробувальному стенді дорожніх матеріалів має переваги в порівняно з іншими відомими методами. Зокрема, вимірювання виконуються в умовах, наближених до реальних, не потрібно складного вимірювального обладнання, крім енкoдерів, також при необхідності може оцінюватися знос шин в процесі випробувань. Виконані дослідження показують залежність прослизання від швидкості руху, а також від температури і тиску в автомобільній шині. результати експериментів показують, що вимір прослизання колеса може ефективно застосовуватися при порівняльних випробуваннях автомобільних шин на круговому універсальному випробувальному стенді дорожніх матеріалів

Кочення еластичного колеса по твердій опорній поверхні, зокрема, по асфальтобетонному покриттю, супроводжується деяким прослизанням елементів протектора колеса в зоні його контакту з дорогою . Це пояснюється різницею довжин ділянок колеса і дороги, що вступають в контакт. Елементи шини, що знаходяться в контактi з опорною поверхнею, навантажені в тангенціальному напрямку по-різному: елементи, що входять до контакт, стискаються, а виходять - розтягуються . При збільшенні переданного крутного моменту зростає площа, в межах якої відбувається прослизання шини щодо дороги. Це явище називають пружним проскальзиванням шини, в відмінну від ковзання (буксування), коли всі елементи протектора зміщуються щодо опорної поверхні. Пружного прослизання не було б за умови рівності цих ділянок. Але це можливо лише в тому випадку, коли колесо і дорога мають контакт по дузі. В

дійсності, опорний контур деформованого колеса вступає в контакт з плоскою поверхнею недеформованою дороги, і прослизання стає неминучим. Внаслідок пружного прослизання або ковзання шлях, прохідний колесом за один оборот, виходить меншим, ніж шлях, прохідний в підпорядкованому режимі. При збільшенні переданого крутного моменту зростає тангенціальна деформація шини та ковзання, а шлях, прохідний колесом за один оборот, зменшується. Величина пружного прослизання зростає при одночасному збільшенні еластичності (піддатливості) шини і жорсткості дороги або, навпаки, при збільшенні жорсткості шини і м'якості дороги. Прослизання збільшується при повороті автомобіля через бічні інерційні сили при занесенні, при неправильному сходженні або розвалі коліс. Прослизання колеса впливає на таку важливу характеристику, як керованість автомобіля і його зчеплення з дорогою, а також на знос автомобільних шин, зокрема шини на провідних колесах піддаються зносу більше, ніж ведені. Визначення пружного прослизання можливо розрахунковим шляхом, а також експериментально за допомогою спеціальних стендів і комплексів. Необхідно відмітити, що на даний момент не існує єдиної методики і обладнання для визначення прослизання експериментальним шляхом. Визначення переміщення окремих ділянок колеса можлива наприклад, шляхом монтажу в шини магнітних датчиків. Але такий метод ускладнює порівняльні випробування зразків автомобільної гуми через необхідність монтажу датчиків в кожну шину.

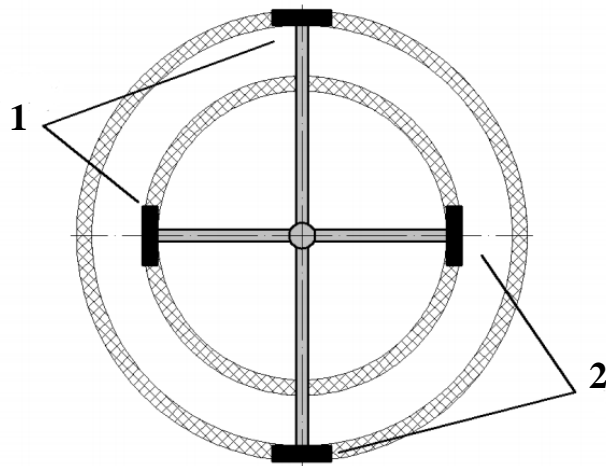
Відомо також пристрій для вимірювання прослизання протектора шини щодо опорної поверхні, що містить вимірювальний елемент, призначений для установки в опорній плиті з можливістю контакту із зовнішньою поверхнею протектора автомобільної шини, і відеокамеру. Вимірювальний елемент виготовлений зі спеціального загартованого скла з лініями масштабної сітки, нанесеної плавиковою кислотою. Відеокамера і колесо, розташовані по різні боки від опорної плити, мають можливість переміщатися щодо її площині. При коченні колеса виробляється відеозйомка площі контакту шини з опорною

поверхнею через загартоване скло. Вимірювання прослизання протектора шини здійснюється шляхом покадрового визначення відстані від точки, зазначеної фарбою на виступі протектора шини, до ліній масштабної сітки на вимірювальному склі. Недоліком методу є те, що точність вимірювання прослизання протектора шини щодо опорної поверхні досить низька через те, що, по-перше, змінюється коефіцієнт тертя в зоні контакту внаслідок установки вимірювального елемента з загартованого скла в опорній плиті; по-друге, відсутня можливість точного визначення моменту входження елемента протектора шини в контакт з опорною поверхнею і, відповідно, прослизання в цій частині зони контакту.

Для визначення величини проковзування колеса в умовах, наближених до дорожніх, доцільно проводити експериментальні роботи на універсальному комплексі для випробувань дорожніх покриттів і автомобільних шин КУІДМ-2 «Карусель» (Малюнок 1,2). Комплекс призначений для ряду випробувань дорожніх покриттів і автомобільних шин і ефективно використовується при проведенні науково-дослідних робіт



Рис. 1. Універсальний комплекс випробувань КУІДМ-2 « карусель»



**Рис.2. Розташування провідних і ведених коліс на стенді КУІДМ-2
«карусель» 1-відомі колеса. 2 ведучі колеса**

До складу устаткування комплексу КУІДМ-2 входять енкодери - пристрої для визначення положення обертових валів. Визначення пройденого шляху за сигналами від енкодера здійснюється шляхом підрахунку кількості сигналів з урахуванням масштабного коефіцієнта. Таким чином, за допомогою встановлених енкодерів на ведених і ведучих колесах стенду КУІДМ-2, стало можливим визначити різницю між відстанями, пройденими провідними і відомими колесами. Такий спосіб дозволяє визначити прослизання колеса без установки датчиків в автомобільну гуму і забезпечує кочення коліс по асфальтобетонному покриттю. Для проведення експериментальних робіт був складений план експерименту з урахуванням факторів (Таблиця 1), які можуть вплинути на величину ковзання.

Таблиця №1

| Показники | Грузовий стен | Легковий стенд |
|---|------------------|---------------------|
| Швидкість руху км/год | 20,40,60,80 | 20,40,60,80 ,100 |
| Температура повітря t | 20-30 | 20-30 |
| Тиск у шинах (стандартний, підвищений, понижений) | Ст,підв,пон. | Ст,підв,пон. |
| Температура в шині t | 20, 25, 30 | 20, 25, 30 |

При аналізі чинників, що впливають на величину ковзання, необхідно врахувати, що тертя і деформація супроводжуються збільшенням температури елементів біговій доріжки. Так як гума є термопластичним матеріалом, то збільшення температури з 0 до 100 °С призводить до зниження міцності міжмолекулярних зв'язків в 2-3 рази.

Швидкість руху транспортного засобу надає більший вплив на прослизання, ніж тиск в шині. Процес прослизання елементів шини носить перериваний характер, в зоні контакту відбуваються стрибкоподібні зрушення елементів протектора. Грунтуючись на даній особливості, було проведено аналіз свідчень енкодерів на провідних колесах при швидкості руху 60 км / год і вихідних температурі і тиску. За величину кутової швидкості приймався усереднений показник за 5 хвилин (Таблиця 2). Результати на малюнку 3 підтверджують, що прослизання спостерігається в певних моментах розглянутого часового інтервалу, в тому числі при зростанні крутного моменту при початку руху. Зростання показника з часом також пояснюється розігрівом автомобільної шини, що викликає зростання піддатливості гуми, тому в подальших експериментах доцільно виконувати вимірювання в інтервалі до 20 хвилин.

Таблиця №2

| | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Кутова швидкість | 0,869 | 0,866 | 0,87 | 0,876 | 0,871 | 0,875 | 0,877 | 0,873 |
| Час | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |

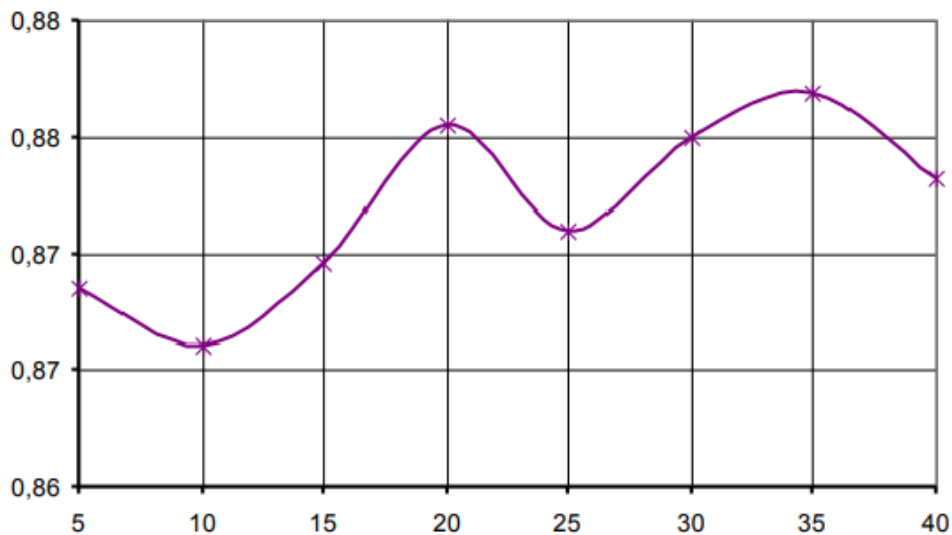


Рис.3 Зміна кутової швидкості в процесі руху

Збільшення інтенсивності зношування протектора шини при зростанні величини радіального навантаження пояснюється збільшенням дотичних напружень і прослизання, а також підвищенням нерівномірності розподілу питомих тисків, що діють в площині контакту колеса з дорожнім покриттям. Фактори, що сприяють зниженню величини проковзування, одночасно з цим зменшують інтенсивність зношування гуми. Наприклад, автомобільні шини з ребром в центрі бігової доріжки, в порівнянні з шинами з канавкою по центру мають інтенсивність зношування на 20-25% нижче внаслідок більшої стійкості до бічного зносу. При зниженні величини питомої тиску шини на дорогу зменшується сила тертя в контактї, що може привести до зменшення зносу. Але при цьому спостерігається збільшення прослизання в контактї.

Проведено дослідження технічної літератури з питань технічного нормування шорсткуватих поверхонь, що впливають на прослизання коліс на дорожніх покриттях, як найбільш актуальних виділені роботи наукової школи професора А.В.Кочеткова. Для визначення прослизання коліс були проведені випробування на кільцевому стенді КУІДМ-2 при різних температурних умовах і при різному тиску в автомобільній шині. Експерименти на легковому стенді виконувалися при швидкості руху від 40 до 100 км / год з кроком в 20 км / ч. У першій серії вимірів в шині забезпечувалося стандартне (Рекомендоване

виробником) тиск і температура 20 ° С. Здійснювався запуск і розгін стенду до необхідної швидкості, потім сталий швидкісний режим підтримувався протягом 20 хвилин, потім проводилася зупинка стенду. У процесі руху стенду при заданій швидкості виконувалося безперервний вимір пройденого провідними і відомими колесами шляху за допомогою енкодерів. У період початку і завершення руху вимірювання не виконувалися з метою зниження помилок, викликаних розгоном і уповільненням. Після виконання вимірювань на всіх розглянутих швидкостях руху при вихідних значеннях тиску і температурі в шині, виконувалися випробування зі зміною величини одного з зазначених факторів. Виконувалися вимірювання при постійній величині тиску при температурах 25 ° С і 30 ° С, методика залишалася незмінною. У наступних експериментах проводилися вимірювання при температурі 20 ° С при підвищеному і зниженому значеннях тиску в шині. Вимірювання при підвищеному тиску і підвищеній температурі одночасно не виконувалися через можливість підвищеного зносу шини, що могло викликати помилки в наступних експериментах.

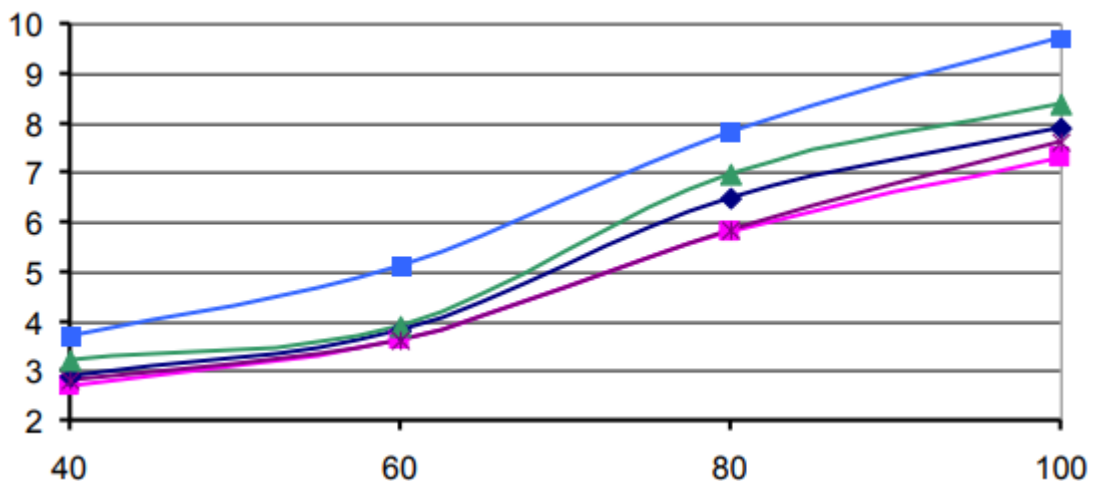


Рис.4 Залежність прослизання від швидкості руху легкового стенду при зміні температури і тиску в шині (легковий стенд) згідно таб. 1

Легковий стенд $t = 20$, $P = \text{стд}$

Легковий стенд $t = 25$, $P = \text{стд}$

Легковий стенд $t = 30$, $P = \text{стд}$

Легковий стенд $t = 20$, $P = \text{низ}$

Легковий стенд $t = 20$, $P = \text{вис}$

Аналіз результатів (Малюнок 4) показує, що найбільший вплив на прослизання робить зниження тиску в шині, при цьому ефект спостерігається на всіх швидкостях руху. Це пояснюється тим, що при зниженні тиску жорсткість шини зменшується, через що її ділянки розтягуються сильніше. Зростання розбіжностей в показаннях енкoderів спостерігається також при збільшенні температури в шині до $25-30^{\circ}\text{C}$, що в більшій ступеня помітно при досягненні швидкості руху від 80 км / год . З результатів видно, що температура впливає на прослизання в разі, коли її зростання сприяє збільшенню податливості автомобільної гуми. З аналізу результатів можна зробити висновок про те, що збільшення температури і зниження тиску в шині мають схожу механізмом впливу на величину ковзання.

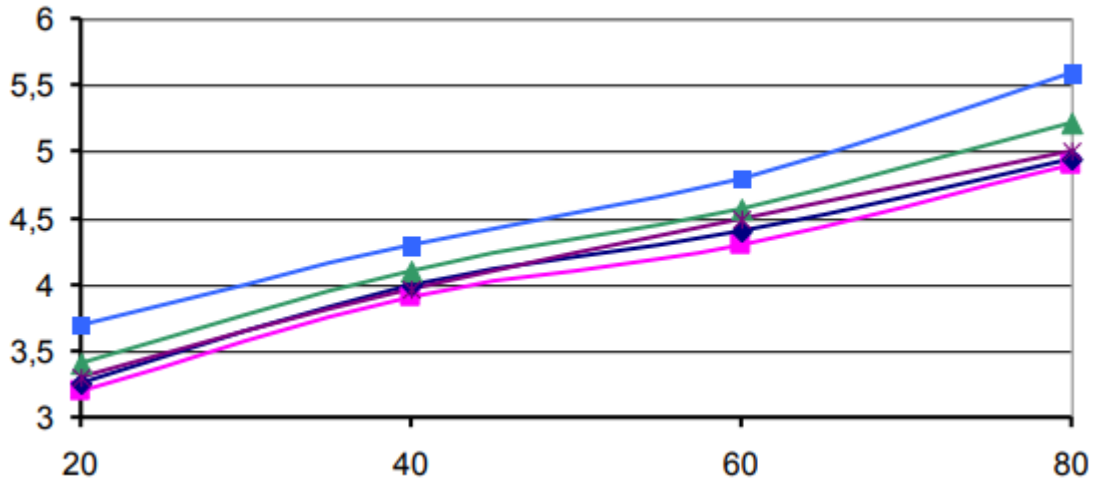


Рис.5 Залежність прослизання від швидкості руху легкового стенду при зміні температури і тиску в шині (вантажний стенд) згідно таб.1

Вантажний стенд $t = 20$, $P = \text{стд}$

Вантажний стенд $t = 25$, $P = \text{стд}$

Вантажний стенд $t = 30$, $P = \text{стд}$

Вантажний стенд $t = 20$, $P = \text{низ}$

Вантажний стенд $t = 20$, $P =$ вис

Результати аналогічних експериментів на вантажному стенді показують схожу залежність (Малюнок 5). Спостерігається збільшення розбіжності показників еncoderів провідних і ведених коліс при збільшенні швидкості руху. Однак, в силу більш низьких по порівняно з легковим стендом швидкостей і більшою площею контакту вантажного колеса з покриттям, характер зміни показника більш плавний. Найбільший вплив на прослизання колеса на обох стендах надає знижений тиск в шині. Потрібно відзначити, що чисельні значення прослизання можуть використовуватися при порівняльних випробуваннях автомобільної гуми різних виробників. Проведені експерименти і розроблена методика оцінки прослизання при двох змінних факторах показує, що експериментальне визначення величини прослизання на стенді КУІДМ-2 має переваги в порівнянні з іншими методами. Зокрема, вимірювання виконуються в умовах, наближених до реальних, що не потрібно складного вимірювального обладнання, крім еncoderів, також при необхідності може оцінюватися знос шин в процесі випробувань. [9]

5. Охорона Праці

1.1 Умови ураження людини струмом при доторканні до струмопровідних частин електромереж

Якщо людина одночасно доторкається до щонайменше двох точок, між якими існує деяка напруга, і при цьому утворюється замкнуте електричне коло, то через тіло людини проходить електричний струм. Величина цього струму, а відтак і небезпека ураження людини, залежить від низки чинників: схеми під'єднання людини до електричного кола, напруги мережі, схеми самої мережі, режиму її нейтралі, якості ізоляції струмопровідних частин від землі, ємності струмопровідних частин відносно землі і т. п.

Електричні мережі поділяються на мережі постійного і змінного струму (однота багатозначні). Найчастіше в промисловості застосовуються трифазні

мережі з ізольованою нейтраллю (трьохпровідні) та з глухозаземленою нейтраллю (чотирьохпровідні).

Глухозаземлена нейтраль — нейтраль генератора чи трансформатора, яка приєднана до заземлювального пристрою безпосередньо або через апарати з малим опором.

Ізольована нейтраль — це нейтраль трансформатора чи генератора, яка не приєднана до заземлювального пристрою або приєднана до нього через апарати з великим опором (трансформатори напруги, компенсаційні котушки тощо).

Схеми під'єднання людини до електричного кола можуть бути різними. Однак найбільш характерними є дві схеми під'єднання: між двома фазами електричної мережі (двофазне доторкання) та між однією фазою та землею (однофазне доторкання).

Двофазне (двополюсне) доторкання. При двофазному доторканні до струмопровідних частин (рис. 1.1) сила струму I_{ℓ} , що проходить через тіло людини визначається за формулами:

для мережі постійного або однофазного змінного струму

$$I_{\ell} = U_{\text{діа}} / R_{\ell}$$

для трифазної мережі

$$I_{\ell} = U_{\text{ф}} / R_{\ell} = \sqrt{3} U_{\delta} / R_{\ell}$$

де R_{ℓ} — опір тіла людини; $U_{\text{роб}}$ — робоча напруга мережі; $U_{\text{лін}}$ — лінійна напруга мережі; $U_{\text{ф}}$ — фазна напруга мережі.

Двофазне доторкання є більш небезпечним, оскільки I_{ℓ} залежить лише від напруги мережі та опору тіла людини. Однак такі випадки зустрічаються досить рідко і є, зазвичай, наслідками порушення правил техніки безпеки.



Рис. 1.1 Схема двофазного доторкання: *а* — в мережі постійного або однофазного змінного струму; *б* — в трифазній мережі

Для більшої наглядності визначимо силу струму, що може пройти через тіло людини при двофазному доторканні у трифазній мережі з лінійною напругою $U_{\text{лін}} = 380\text{В}$:

$$I_{\text{л}} = U_{\text{лін}} / R_{\text{л}} = 380 / 1000 = 0,38\text{А} \text{ (380мА)}.$$

Таким чином при двофазному доторканні через тіло людини може пройти струм, який перевищує значення порогового фібриляційного струму, що може призвести до смертельного ураження.

Однофазне (однополюсне) доторкання. При однофазному доторканні в мережі з глухозаземленою нейтраллю (рис. 13.2, *а*) через тіло людини проходить менший струм, оскільки напруга, під якою опинилась людина не перевищує фазної, що у $\sqrt{3}$ разів є меншою ніж лінійна напруга мережі. Окрім того, загальний опір електричного кола може складатися не лише з опору тіла людини $R_{\text{л}}$, та опору заземлення нейтралі R_0 а й з опору підлоги (основи) $R_{\text{п}}$, на якій стоїть людина та опору її взуття $R_{\text{в}}$. В загальному випадку $I_{\text{л}}$ визначається за формулою:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + R_0 + R_{\text{п}} + R_{\text{в}}}$$

Розглянемо випадок, коли людина доторкається до однієї із фаз трифазної мережі напругою 380В ($U_{\text{ф}} = 380 \sqrt{3} = 220\text{В}$) із глухозаземленою нейтраллю (приймаємо $R_0 = 0$), однак стоїть на неструмопровідній дерев'яній підлозі, що має опір $R_{\text{п}} =$

60 000 Ом у сухому взутті на гумовій підшві ($R_e = 50\,000\text{ Ом}$), тоді струм, що може пройти через тіло людини буде дорівнювати:

$$I_l = \frac{U_\phi}{R_l + R_0 + R_n + R_B} = \frac{220}{1000 + 0 + 60000 + 50000} = 0.002\text{ А}$$

Струм такої сили абсолютно безпечний для життя людини, оскільки він менший за пороговий невідпускаючий струм.

Якщо ж людина стоїть на землі чи струмопровідній підлозі ($R_n = 0$) у промоченому взутті ($R_e = 0$), то I_l становить:

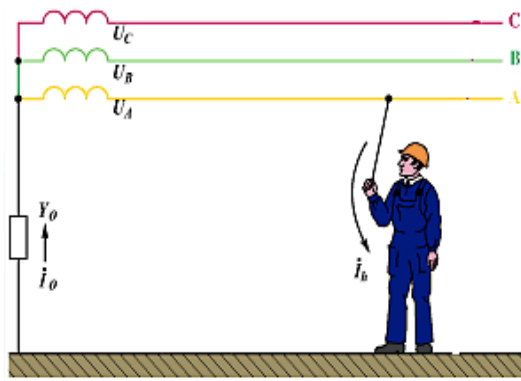
$$I_l = \frac{U_\phi}{R_l + R_0 + R_n + R_B} = \frac{220}{1000 + 0 + 0 + 0} = 0,22\text{А (220мА)}$$

Таке значення сили струму є смертельно небезпечним для людини.

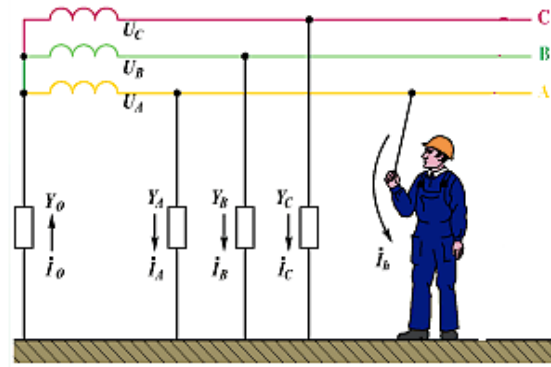
При однофазному доторканні у трифазній мережі з ізольованою нейтраллю (рис. 1.1 б) струм, що пройде через тіло людини буде меншим ніж при аналогічному доторканні у мережі з глухозаземленою нейтраллю. Це пов'язано з тим, що до загального опору електричного кола ще додається опір ізоляції (r_a, r_b, r_c) та ємності (c_a, c_b, c_c) фаз. У такій мережі напругою до 1000 В коли значення опору ізоляції всіх трьох фаз рівні ($r_a = r_b = r_c = r$), а ємнісним опором можна знехтувати ($c_a = c_b = c_c = 0$), то струм, що проходить через людину, дорівнює:

$$I_l = \frac{U_\phi}{R_l + R_0 + R_n + R_B} + \frac{r}{3} = \frac{3U_\phi}{3(R_l + R_0 + R_n + R_B) + r}$$

При $R_0 = R_n = R_B = 0$ $I_l = \frac{3U_\phi}{3R_l + r}$; $U_\phi = 220$ $R_l = 1000$ $r = 10$. $I_l = \frac{3U_\phi}{3R_l + r} = \frac{660}{3000 + 10} = 0.2\text{А}$



А



Б

Рис. 1.2. Схема однофазного доторкання при нормальному режимі роботи:

***a* — у трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю; *б* — у трифазній мережі з ізольованою нейтраллю**



Рис. 1.3. Схема однофазного доторкання до справної

Необхідно зауважити, що вищенаведені міркування стосуються нормальної роботи електромережі. При аварійних режимах електромережі (замиканні на корпус або на землю) умови змінюються. Наприклад, якщо одна із фаз замикається на землю (рис. 13.3), то струм, який пройде через тіло людини у випадку її доторкання до справної фази можна виразити такою залежністю:

$$I_{л} = \frac{U_e}{R_e + R_k}$$

Як правило, опір короткого замикання R_k досить малий і ним можна знехтувати, тоді

$$I_{л} = \frac{U_e}{R_e + R_k}$$

Де $U_{\phi} < U_e < U_{\text{лін}}$. $U_e = 220$ $R_e = 13$ $R_k = 10$.

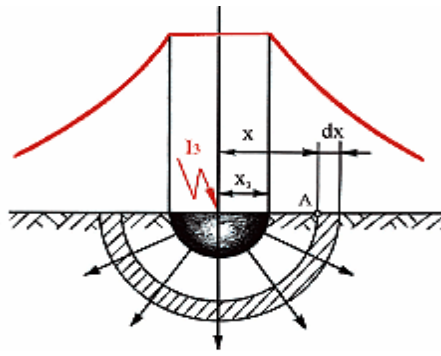
$$I_{л} = \frac{U_e}{R_e + R_k} = \frac{220}{23} = 9.5A$$

Таким чином, проаналізувавши розглянуті умови ураження людини струмом можна зробити наступні висновки:

- найменш небезпечним є однофазне доторкання до проводу справної мережі з ізольованою нейтраллю;
- при замиканні однієї із фаз на землю (несправна мережа) небезпека однофазного доторкання до справної фази у такій мережі більша ніж у справній мережі при будь-якому режимі нейтралі;
- при однофазному доторканні у мережі з глухозаземленою нейтраллю наслідки ураження істотно залежать від опору основи (підлоги), на якій стоїть людина та опору її взуття;
- найнебезпечнішим є двофазне доторкання при будь-яких режимах нейтралі;
- у мережах напругою понад 1000 В небезпека однофазного чи двофазного доторкання практично однакова, при цьому є висока імовірність смертельного ураження.

1.2 Умови ураження людини струмом при доторканні до струмопровідних частин електромереж

Замикання на землю називається випадкове електричне з'єднання частин електроустановки, які знаходяться під напругою із землею. Струм від заземлених корпусів, що опинились під напругою переходить у землю через електрод (заземлювач), який контактує з землею. Струм розтікаючись у ґрунті створює на його поверхні потенціали



**Рис. 1.4. Розтікання струму в ґрунті
через напівсферичний заземлювач**

Спрощена картина розтікання електричного поля наведена на рис. 1.4. Струм стікає в землю через одинарний заземлювач напівсферичної форми, який знаходиться в однорідному ґрунті з питомим опором ρ , котрий значно перевищує питомий опір матеріалу заземлювача. Густина струму δ в точці А на поверхні ґрунту, що знаходиться на відстані x від заземлювача визначається як співвідношення струму замикання на землю I_3 до площі поверхні півкулі радіусом x :

$$\delta = I_3 / 2\pi x^2$$

Для визначення потенціалу точки А виділимо елементарний шар товщиною dx . Падіння напруги в цьому шарі становить $dU = Edx$. Потенціал точки А дорівнює сумарному падінню напруги від точки А до землі, тобто:

$$\varphi_A = U_A = \int_x^\infty dU = \int_x^\infty Edx.$$

Напруженість електричного поля в точці А визначається із закону Ома, який виразимо через формулу:

$$E = \delta\rho.$$

Тоді потенціал в точці А можна знайти за виразом:

$$\varphi_A = \int_x^\infty \delta\rho dx = \int_x^\infty I_3\rho dx / 2\pi x^2 = I_3\rho / 2\pi x.$$

З цієї формули видно, що потенціали точок ґрунту в зоні розтікання змінюються за гіперболічним законом.

Напруга доторкання. Для людини, що стоїть на землі і доторкається до заземленого корпусу, що опинився під напругою, визначити напругу доторкання $U_{\text{дот}}$ можна як різницю потенціалів між руками φ_p і ногами φ_n

$$U_{\text{дот}} = \varphi_p - \varphi_n.$$

Оскільки людина доторкається до заземлюваного корпусу, то потенціал руки і є потенціалом цього корпусу або напругою замикання

$$\varphi_p = I_z \rho / 2\pi x_z.$$

Ноги людини знаходяться в точці А і потенціал дорівнює:

$$\varphi_n = I_z \rho / 2\pi x$$

На рис. 1.5. показано три корпуси споживачів, які приєднані до заземлювача R . Потенціали на поверхні ґрунту при замиканні на корпус будь-якого споживача фазної напруги розподіляються за кривою I . Потенціали усіх корпусів однакові, оскільки вони електрично з'єднанні між собою заземлювальним провідником. Для того щоб визначити напругу доторкання $U_{\text{дот}}$ потрібно від напруги замикання U_z відняти потенціали тої точки ґрунту на якій стоїть людина. **Якщо людина стоїть над заземлювачем то напруга доторкання дорівнює нулю.** При віддаленні від заземлювача напруга доторкання зростає і у людини, що доторкнулась до останнього корпусу вона стає рівною напрузі замикання.

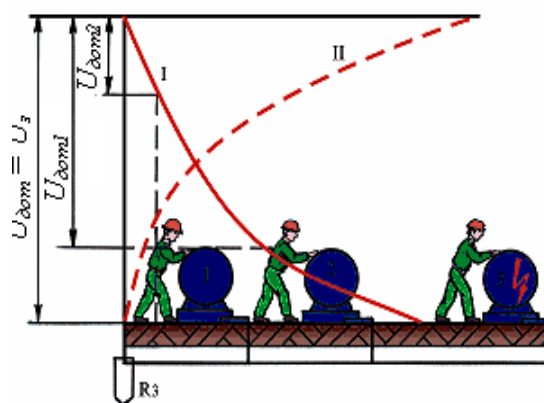


Рис. 1.5. Напруга доторкання до заземлених струмопровідних частин, що опинились під напругою

Напруга кроку. Людина, яка опиняється в зоні розтікання струму, знаходиться під напругою, якщо її ноги стоять на точках ґрунту з різними потенціалами. **Напругою кроку** називається напруга між двома точками електричного кола, що знаходиться одна від одної на відстані кроку (0,8 м) і на яких одночасно стоїть людина

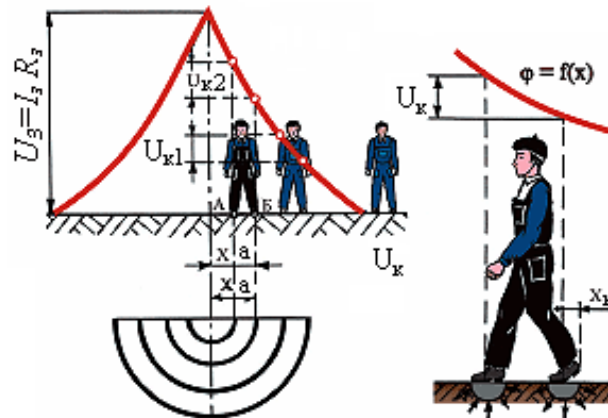


Рис. 1.6. Напруга кроку

На рис. 1.6. наведено розподіл потенціалів між точками А і Б на яких стоїть людина:

$$U_{\kappa} = \varphi_a - \varphi_b$$

Оскільки точка А знаходиться на відстані x від заземлювача, то її потенціал при напівсферичному заземлювачу дорівнює:

$$\varphi_A = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}$$

Точка Б знаходиться на відстані $x+a$, де a – відстань кроку людини, тоді її потенціал:

$$\varphi_B = \frac{I_3 \rho}{2\pi(x+a)}$$

$$U_{\kappa} = \frac{I_3 \rho a}{2\pi x(x+a)}$$

Таким чином, напруга кроку знижується в міру віддалення від точки замикання на землю та при меншій довжині кроку людини.

1.3 Системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок

Безпечна експлуатація електроустановок забезпечується: конструкцією електроустановок, технічними заходами захисту, та організаційними (рис. 1.7).

Розглянемо деякі з них.

Конструкція електроустановок. Конструкція електроустановок повинна відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу:

- від можливого доторкання до рухомих та струмопровідних частин;
- від потрапляння в середину електроустановок сторонніх предметів (води);

Ізоляція струмопровідних частин. Вона забезпечується шляхом покриття шаром діелектрика струмопровідних частин для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм.

Ізоляція буває:

- робочою при забезпеченні нормальної роботи електроустановок;
- додатковою застосовується у разі пошкодження робочої ізоляції;
- посиленою – покращена ізоляція.

Попереджувальна сигналізація. Є пасивним засобом захисту, який сигналізує про наявність небезпеки. Сигналізація може бути світловою або звуковою.

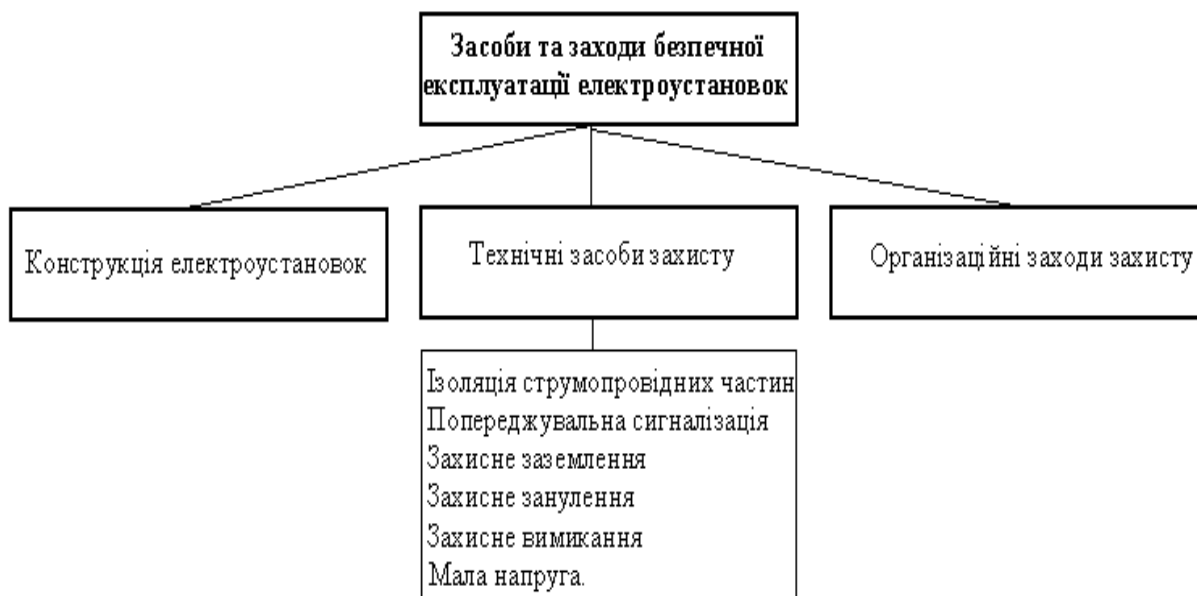


Рис. 1.7. Класифікація засобів та заходів безпечної експлуатації електроустановок

Мала напруга. Застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. При використанні малої напруги струм не може пройти через тіло людини. До малих напруг належать номінальні напруги, що не перевищують 42 В. Малі напруги застосовують у приміщеннях з підвищеною небезпекою (напруга до 36 В включно) та в особливо небезпечних приміщеннях (напруга 12 В). Джерелами такої напруги можуть бути батареї гальванічних елементів, акумулятори, трансформатори та інше. На рис. 1.8. наведено схеми трансформаторів малої напруги

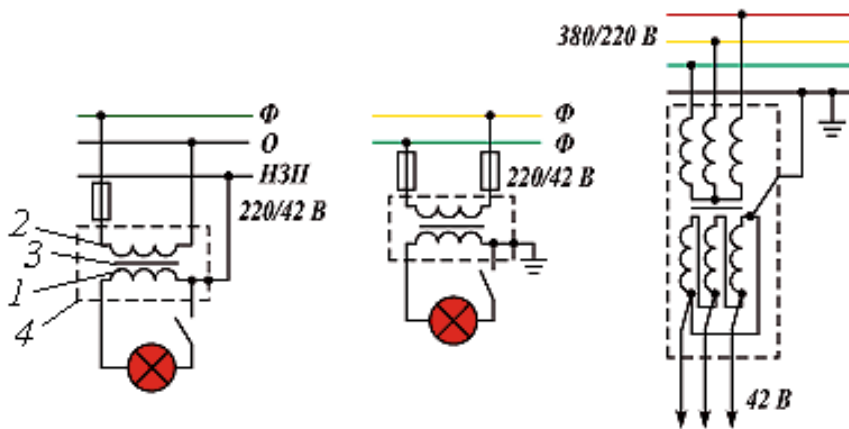


Рис. 1.8. Схема трансформаторів малої напруги: 1 – обмотка малої напруги; 2 – обмотка високої напруги; 3 – магнітопровід, 4 – екран

Захисне заземлення. Застосовують у мережах з напругою до 1000 В з ізольованою нейтралю та в мережах напругою вище 1000 В з будь-яким режимом нейтралі джерела живлення.

Захисне заземлення – це навмисне електричне з’єднання із землею або з її еквівалентом металевих нормально не струмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою.

Якщо корпус устаткування є незаземленим і відбулось замикання на нього однієї з фаз, то доторкання людини до такого корпусу рівнозначно доторканню до фази. Якщо корпус електрично з’єднаний із землею (рис. 1.9), то він опиниться під

напругою замикання $U_3 = I_3 R_3$, а людина, що доторкається до цього корпусу, потрапляє під напругу доторкання $U_{\text{дот}} = U_3 \alpha$. Струм, який пройде через людину визначається за формулою:

$$I_3 \frac{U_{\text{дот}}}{R_{\text{л}}} = \frac{I_3 R_3 \alpha}{R_{\text{л}}}$$

Звідки $I_3 = 13 \text{ А}$ $R_3 = 9 \text{ Ом}$ $\alpha = 7$ $R_{\text{л}} = 17 \text{ Ом}$

$$I_3 \frac{U_{\text{дот}}}{R_{\text{л}}} = \frac{I_3 R_3 \alpha}{R_{\text{л}}} = \frac{13 * 9 * 7}{17} = 48.17 \text{ А}$$

звідки видно, що чим меншими є значення R_3 та α , тим менший струм пройде через тіло людини, яка стоїть на землі і доторкається до корпусу електрообладнання. Таким чином, захист від ураження струмом забезпечується шляхом приєднання корпусу до заземлювача, який має малий опір заземлення R_3 та коефіцієнт напруги доторкання α .

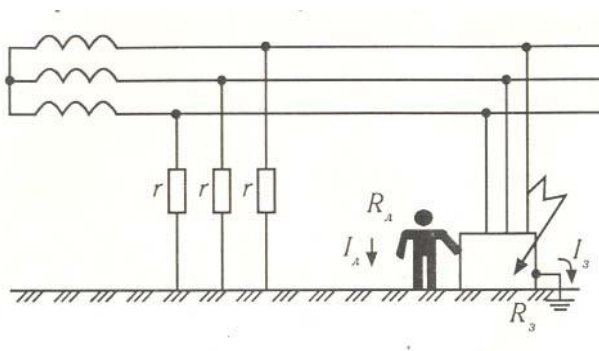


Рис. 1.9. Захисне заземлення

Заземлювальним пристроєм називають сукупність конструктивно об'єднаних заземлювальних провідників та заземлювача. Заземлювач – провідник, який перебуває у контакті з землею. Заземлювачі бувають природні і штучні. Природні – можуть бути електропровідні частини будівельних та виробничих конструкцій, які мають надійний контакт з землею. Для штучних заземлювачів використовують сталеві труби діаметром 35 – 50 мм з товщиною стінок не менше 3,5 мм, кутники (40x40 та 60x60 мм) довжиною 2,5 – 3,0 м, та сталеві прутки діаметром не менше ніж 10 мм та довжиною до 10 м. В більшості випадків

штучні вертикальні заземлювачі знаходяться у землі на глибині 0,5 – 0,8 м. Вертикальні заземлювачі з'єднують між собою поперечним перерізом не менше ніж 4x12 мм або прутом з діаметром не менше 6 мм (рис. 1.10)

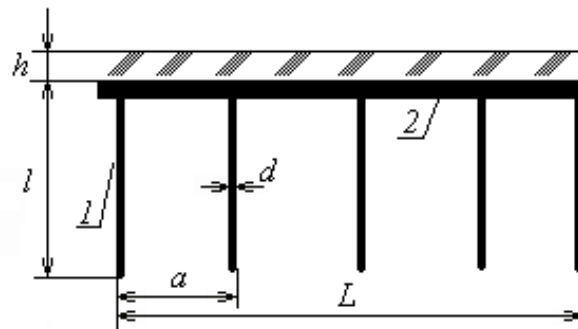


Рис. 1.10 Схема розташування заземлювачів: 1 – заземлювач; 2 – заземлювальний провідник

Залежно від розташування заземлювачів стосовно устаткування, розрізняють виносне (зосереджене) та контурне (розподілене) заземлення. Перевага виносного заземлення (рис. 1.11) полягає у тому, що можна вибирати місце розташування заземлювачів з найменшим опором ґрунту. Заземлювачі контурного заземлення (рис. 1.12) розташовують безпосередньо по периметру ділянки на якій знаходиться устаткування. До переваг контурного заземлення слід віднести вирівнювання потенціалів всередині контуру, що дає змогу знизити напругу доторкання і кроку

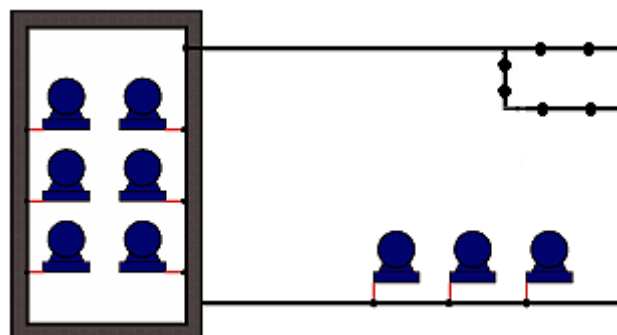


Рис. 1.11. Виносне заземлення

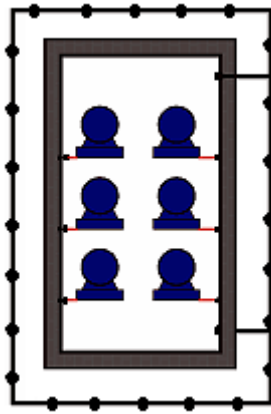


Рис. 1.12. Контурне заземлення

Послідовність розрахунку заземлення.

1. Розрахунковий питомий опір ґрунту (Ом·м) визначають за формулою:

$$\rho_p = \rho \cdot \varphi$$

$$\rho_p = 230 \cdot 1.3 = 299 ,$$

де ρ – питомий опір ґрунту; φ – кліматичний коефіцієнт, що залежить від характеру ґрунту та його вологості під час вимірів.

2. Опір розтікання струму одного вертикального стержневого (трубчастого) заземлювача, верх якого заглиблений на h м, Ом:

$$R_{од} = \frac{\rho_p}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right)$$

де l – довжина заземлювача, м; d – діаметр заземлювача, м; t – відстань від поверхні землі до середини заземлювача, м ($t = l/2 + h$).

При застосуванні заземлювача з труб довжиною $l = 2,5$ м, діаметром $d_{зовн} = 0,06$ м ($d_{вн} = 2$) і розташуванні верхнього кінця труб нижче рівня землі на 0,7 м (для зменшення впливу річних температурних коливань на опір заземлювача) опір розтікання розраховують:

$$R_{од} = 0,308 \rho_p .$$

3. Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів, шт.:

$$n' = \frac{R_{од}}{R_3}$$

де R_3 – найбільший допустимий опір заземлюючого пристрою згідно з "Правилами устрою електроустановок".

4. Шляхом розташування отриманої кількості заземлювачів на плані, орієнтовно визначають відстань між ними та коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, залежно від кількості стержнів і відношення відстані між ними до їх довжини.

5. Необхідна кількість заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання:

$$n = R_{од} / R_3 \cdot \eta_{ст}$$

6. Опір розтікання з'єднувальної шини з урахуванням коефіцієнта її використання, $\eta_{ш}$ Ом:

$$R_{ш} = \frac{\rho_P}{2\pi L \eta_{ш}} \ln \frac{2L^2}{bh_1},$$

де L – довжина шини, м; b – ширина шини, м; h_1 – глибина закладання шини, м.

7. Опір заземлюючого пристрою, що має n стержнів, без урахування опору шини, Ом:

$$R_{ст} = \frac{R_{од}}{n * \eta_{ст}}$$

8. Загальний опір складного заземлюючого пристрою, Ом:

$$R = \frac{R_{ст} * R_{ш}}{R_{ст} + R_{ш}} \leq R_3$$

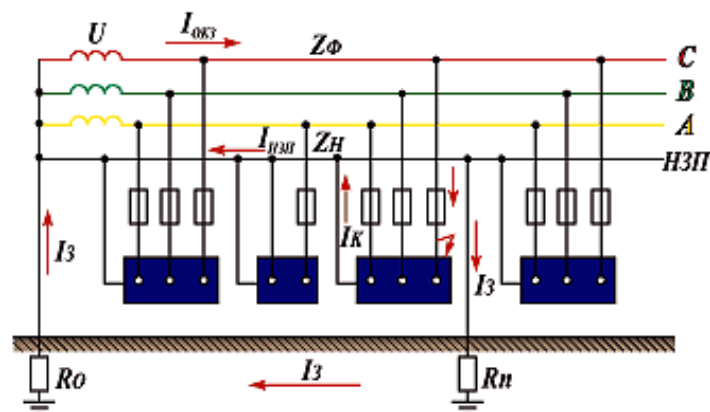


Рис. 1.13. Схема захисного занулення

Захисне занулення. Занулення – це навмисне електричне з’єднання з нульовим захисним провідником металевих нормально не струмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою. Застосовується в чотирьохпровідних провідних мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю. Нульовий захисний провідник – це провідник, який з’єднує частини, що підлягають зануленню, з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму або еквівалентом.

При зануленні (рис. 1.13) у випадку замикання мережі на корпус 1 електроустановки виникає однофазне коротке замикання. Внаслідок цього електроустановка автоматично вимикається і таким чином забезпечується захист людини від ураження електричним струмом.

Захисне вимикання. Захисне вимикання – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки (не більше як за 0,2 с) при виникненні в ній небезпеки ураження струмом. Застосовується, як основний або додатковий захисний засіб, якщо безпека не може бути забезпечена шляхом влаштування інших захисних засобів.

Ізолювальні електрозахисні засоби. Призначені для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою та від землі, якщо людина одночасно доторкається до землі чи заземлених частин електроустановок та струмопровідних частин, що опинились під напругою



Рис. 1.14. Ізолювальні електрозахисті засоби

Розрізняють основні та додаткові ізолювальні електрозахисті засоби. До основних належать – ізоляція: при роботах на електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізольованими ручками, струмовипромілювальні кліщі, а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 ВА – ізолювальні штанги, струмовипромірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги.

Додаткові ізолювальні захисні засоби призначенні для підсилення захисної дії. До них належать: при роботі на електроустановках до 1000 В – колоші, килимки, підставки; при роботі на установках з напругою більше 1000 В – рукавички, боти, килимки, підставки.

Висновки

Ізоляція струмопровідних частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм.

Забезпечення недосяжності неізольованих струмопровідних частин

передбачає застосування захисних огорож, блокувальних пристроїв та розташування струмопровідних частин на недосяжній висоті чи в недосяжному місці.

Захисні огорожі можуть бути суцільними та сітчастими. Суцільні огорожі (корпуси, кожухи, кришки і т. п.) застосовуються в електроустановках з напругою до 1000 В, а сітчасті — до і вище 1000 В. Захисні дверцята чи двері повинні закриватись на замок або обладнуватись блокувальними пристроями.

Блокувальні пристрої за принципом дії поділяються на механічні, електричні та електронні. Вони забезпечують зняття напруги із струмопровідних частин при відкриванні огорожі та спробі проникнути в небезпечну зону.

Розташування неізольованих струмопровідних частин на недосяжній висоті чи у недосяжному місці забезпечує безпеку без захисних огорож та блокувальних пристроїв. Вибираючи необхідну висоту підвісу проводів під напругою враховують можливість випадкового доторкання до них довгих струмопровідних елементів, Інструменту чи транспорту. Так висота підвісу проводів повітряних ліній електропередач відносно землі при лінійній напрузі до 1000 В повинна бути не меншою ніж 6 м.

Попереджувальна сигналізація є пасивним засобом захисту, який не усуває небезпеки ураження, а лише інформує про її наявність. Така сигналізація може бути світловою (лампочки, світлодіоди і т. п.) та звуковою (зумери, дзвінки, сирени). На виробництві широко використовують світлову сигналізацію для попередження про наявність напруги на тих чи інших частинах електроустаткування. Наприклад, при подачі напруги на електроустаткування на пульті керування загоряється сигнальна лампочка «Мережа».

Мала напруга застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. До малих напруг належать номінальні напруги, що не перевищують 42 В. При таких напругах струм, що може пройти через тіло людини є дуже малим і вважається відносно безпечним. Однак, гарантувати абсолютної безпеки неможливо, тому поряд з малою напругою використовують й інші способи та засоби захисту

6. Економічна частина

Вступ

В даному дипломному проекті розглядається покращення зчепних властивостей з дорогою електромобіля, як приклад було обрано автомобіль Tesla model S.

Метою є розрахунок капітальних витрат на експлуатацію електромобіля та витрат на електроенергію

1. Розрахунок капітальних витрат

При визначенні величини проектних капітальних витрат можливо скористатись наступною формулою:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} \times \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) = Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} + Z_{\text{пр}},$$

Де $K_{\text{об}} \times \left(\sum_{i=1}^k C_i \right)$ вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{\text{тзс}}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{\text{м}}$ – витрати на монтажні роботи;

$Z_{\text{н}}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{\text{пр}}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Так як , електромобіль в продажу на авторинку у повній комплектації розрахунок капітальних витрат не проводиться.

Середня вартість електромобілю в Україні складає 41 350\$ за курсом НБУ станом на 15.06.2021 (27.10 грн) це 1 120 585 грн

1.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_z);
- єдиний соціальний внесок (C_c);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж (C_m);
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або витрат електроенергії (C_e);
- інші експлуатаційні витрати ($C_{\text{пр}}$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_s + C_{np}, \text{ грн.}$$

Даний розділ не розраховується, так як, розрахунок експлуатаційних витрат електромобіля залежить від причини поломки та цін на СТО

Consumer Reports відзначає, що «типовий» власник електромобіля може розраховувати на економію в середньому від 800 до 1000 доларів в рік на вартості палива.

1.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості

$$\Phi_a = \Phi_{\Pi} - Л$$

де Φ_{Π} – первісна вартість об'єкта основних засобів (1 120 585 грн);

Л – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів, вважаємо її рівною нулю.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$N_a = \frac{\Phi_{\Pi} - Л}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} \cdot 100, \%$$

де T_{Π} – термін корисного використання (амортизаційний період).

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_{\Pi} \cdot N_a}{100} \text{ або } AO = \frac{\Phi_{\Pi} - \Phi_{Л}}{T_{\Pi}}$$

$$N_a = 0.2\% \quad AO = 2241.17 \text{ грн}$$

| № з/п | Найменування | Капітальні інвестиції, тис. грн. | Норма амортизації, % | Сума амортизації, тис. грн. |
|-------|---------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1. | Tesla model S | 1 120 585 грн | 0.2 % | 2241.17 тис. грн |

1.4 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робітники, КСС), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно за їх чисельністю, режимом роботи, вартівими тарифними ставками, посадовими окладами, що застосовуються на підприємстві формами і системами оплати праці та преміювання. Так як, електромобіль не потребує постійного втручання

розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюватися не буде. Заробітна плата електромеханіка на СТО в залежності від поломки електромобіля

1.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування, втрат електроенергії та тарифу за формулою:

$$C_{\text{э}} = W_p \cdot C_e, \text{ грн.}$$

де W_p – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт • год;

C_e – тариф на електроенергію станом на конкретну дату, грн. / кВт • год;

W_p Приймаємо за один заряд акумуляторів електромобіля, так як Ви значити кількість спожитої електроенергії електромобіля немає змоги через зовнішні фактори, а саме через фактор самого водія, беремо 75 кВтг

C_e - якщо заряджати від мережі тариф на електроенергію в Україні 1.68 грн

C_e - якщо заряджати у платних мережах зарядки електромобілів -5 грн

$$C_{\text{э}1} = 85 * 1.68 = 142.8 \text{ грн}$$

$$C_{\text{э}2} = 85 * 5 = 425 \text{ грн}$$

1.6 Визначення інших втрат

Інші витрати по експлуатації електромобіля залежить від змін пори року, а саме у зимню пору року переходити на зимню шину, та літом відподіно на літню приблизна вартість комплекту шин , в залежності від марки виробника , 20 000 грн

Висновки

Витрати на заряд електромобіля залежать від місця зарядки, якщо це побутова зарядка , один заряд акумулятрних батарей буде складати 142,8 грн, якщо це пункти заряду електромобілів -425 грн .Інші показники не було розраховано у зв'язку з експлуатацією автомобіля та його ремонту у відповідний сервісних центрах СТО

Література

[1]

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD>

[2]

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87>

[3] Лабораторна робота СПАЕ-1 "Дослідження трифазного керованого випрямляча у випрямному режимі"

https://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/spae/SPAElab1n_new.pdf

[4] книга МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ. ЧАСТИНА І: КОРОТКИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Пушніцин Д. С., асп., Ніконенко Є. О., студ., Пересада С. М., д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/29780/1/Pushnytsin_SPEA_2018_1.pdf

[5] <http://autotesla.ru/auto-tesla/model-s/tesla-model-s-texnicheskie-xarakteristiki-i-osobennosti.html>

[6]

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BA%D0%B5%D1%80%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F

[7]

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B8_%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%83%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F

[8]

https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/32240/mod_resource/content/1/per_proc.pdf

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ
У ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ
ІЗ ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ТА РОЗПОДІЛЕНИМИ
ПАРАМЕТРАМИ
НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК УДК 621.3(076.2)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник
для

студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки
«Електротехніка та електротехнології», «Електромеханіка» та «Комп'ютерна
інженерія» (Лист № 1/11-11825 від 22.07.2013р.)

К61

[9] <https://naukovedenie.ru/PDF/46TVN114.pdf> Дослідження параметрів

прослизання колеса при

різних режимах обертання кругового універсального
випробувального стенду дорожніх матеріалів